

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO EN INGENIERÍA**

**“INTEGRACION DE LA ESTACION FMS 2101 DEL
LABORATORIO CIM 2000 MEDIANTE LA PLATAFORMA
COMPACTLOGIX DE ALLEN BRADLEY”**

**REALIZADO POR:
PAÚL HERNÁN CÓNDOR CHICAIZA
MILTON ROBERTO ENRIQUEZ SEGOVIA**

SANGOLQUÍ – ECUADOR

2010

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente proyecto de grado titulado: “Integración de la estación FMS 2101 del laboratorio CIM 2000 mediante la plataforma CompactLogix de Allen Bradley”. Ha sido realizado en su totalidad por los señores Paúl Hernán Córdor Chicaiza con CI: 1715415350 y Milton Roberto Enriquez Segovia con CI: 1715832117, bajo nuestra dirección.

Ing. Rodolfo Gordillo O.
DIRECTOR

Ing. Víctor Proaño R.
CODIRECTOR

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios que ha sido luz, no solo en la obtención de este título sino a lo largo de toda mi vida y soporte en ante mis problemas y preocupaciones llevándome a una solución.

A mi madre que con todo su amor me brinda su comprensión y me ha mostrado que las metas grandes conllevan esfuerzo dedicación, entrega y mediante sus consejos y ejemplo hacerme ver que en la vida es importante tener sueños pero mucho más importante es hacerlos realidad y una vez alcanzado algo, volver a empezar con nuevas metas pues la vida es una constante lucha de superación.

A mis maestros que supieron brindarme parte de sus conocimientos tanto en el aula como fuera de ella y principalmente al Ing. Rodolfo Gordillo e Ing. Víctor Proaño que fueron quienes guiaron este proyecto.

A mi familia por su apoyo diario.

Hay muchas personas especiales a las que quisiera agradecer su amistad y apoyo en las diferentes etapas de mi vida, amigos que están en el presente conmigo como Santiago, Luis, Karolina, Jorge, Raúl que con palabras y actos de amistad hacen sentir su presencia de momentos de alegría o tristeza y aquellos que permanecen en mis recuerdos y en el corazón como Verónica, sin importar donde estén o si algún día llegan a leer esto quiero darles las gracias por formar parte de mi vida.

Milton Enriquez

AGRADECIMIENTO

A Dios por la vida y por haberme guiado con sabiduría en todo el tiempo de estudio, por mostrarme el buen camino al tomar decisiones y por darme la fortaleza para seguir adelante.

A mis padres por el esfuerzo y dedicación constante desde mi niñez hasta estos días. Por haberme inculcado todos los valores y principios, educándome desde la casa como una persona de bien.

A los Ingenieros Rodolfo Gordillo y Víctor Proaño quienes fueron los directores del proyecto y bajo su tutela se culminó con éxito.

A todos los maestros que en su momento me transmitieron sus conocimientos y experiencias.

A todos mis amigos, compañeros y familiares quienes directa o indirectamente me brindaron su apoyo para la realización de este proyecto.

A esa persona con quien compartí grandes momentos, la recordaré y guardaré por siempre.

Paúl Cóndor

DEDICATORIA

A mi madre por ser la mejor mamá del mundo.
Mi hermanita toda una vida juntos, te quiero mucho.
Mi mamita Emperita un ejemplo de amor en mi vida.
Andrés, mi pequeño ocupas un lugar importante en
mi corazón.
Y a mi padre, siga adelante.

Milton Enriquez

DEDICATORIA

Este proyecto va dedicado a mis Padres, quienes han sido un pilar fundamental en mi vida, guiándome y apoyándome incondicionalmente. Hernán Cóndor y Margoth Chicaiza, con todo cariño a ustedes este trabajo.

Paúl

PRÓLOGO

Este proyecto de grado consiste en la modernización de la estación FMS del laboratorio del CIM, que provee al laboratorio de tecnología de última generación y da a cada estudiante una familiarización con un entorno profesional visto en grandes empresas automatizadas.

Esta modernización se hace posible gracias a la gestión y compromiso de cada una de las autoridades de la Escuela Politécnica del Ejército, para la adquisición de los equipos con los que ahora cuenta la institución. Para el desarrollo de este proyecto se realizó un análisis previo en base a la productividad que estaba generando el laboratorio en las condiciones en las que se hallaba, realidad que no era favorable para la Escuela, por lo que se concluyó en adoptar el cambio.

En la renovación del laboratorio CIM y en particular en la estación FMS la comunicación entre cada una de las estaciones se da mediante protocolo Ethernet reduciendo así la cantidad de cables para las señales de entrada y salida además el control de la estación se da mediante el PLC COMPACT LOGIX 5000 de ALLEN BRADLEY una de las empresas líderes en automatización y control.

La función de la estación FMS es maquinar piezas cilíndricas mediante un torno (máquina NCL-2000) y maquinar piezas prismáticas que se lo realiza en la fresadora (máquina NCM-2000). El transporte de piezas a cada una de las máquinas se lo efectúa con el robot CRS A255 que ejecuta cada uno de los movimientos en base a rutinas programadas.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1.....	1
SISTEMA DE MANUFACTURA FLEXIBLE	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 DESARROLLO HISTÓRICO DE SISTEMAS DE MANUFACTURA.....	2
1.3 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS FMS	3
1.4 COMPONENTES DE LAS FMS.....	5
1.5 INTEGRACIÓN DE LOS COMPONENTES DE UN SISTEMA DE MANUFACTURA FLEXIBLE	6
1.5.1 Componentes de hardware.....	7
1.5.2 Software de un FMS y funciones de control.....	10
1.5.3 Mano de obra humana.....	10
1.6 PLANEACIÓN DEL FMS.....	11
CAPÍTULO 2.....	12
COMUNICACIÓN	12
2.1 INTRODUCCIÓN.....	12
2.2 BUSES DE CAMPO.....	12
2.2.1 Buses de Campo Existentes.....	12
2.2.1.1 Buses de alta velocidad y baja funcionalidad.....	13
2.2.1.2 Buses de alta velocidad y funcionalidad media.	13
2.2.1.3 Buses de altas prestaciones.	13
2.3 CAPACIDAD DEL CANAL	14
2.4 TOPOLOGÍA	15
2.4.1 Topología física.....	15
2.4.2 Topología lógica.....	15
2.4.3 Topología CIM.....	16
2.5 REDES ETHERNET	16
2.6 REDES INDUSTRIALES ETHERNET	17
2.6.1 Modo de Operación:.....	18
2.6.2 Capacidad en tiempo real:	18
2.6.3 Probabilidad de colisión:.....	18
2.6.4 Segmentación mediante switches:	19
2.6.5 Determinismo en las redes.....	19
2.6.6 Organización de las comunicaciones:.....	20
2.6.7 Normas de automatización:	20
CAPÍTULO 3.....	22
HARDWARE ORIGINAL DE LA ESTACIÓN DE MAQUINADO	22
3.1 INTRODUCCIÓN.....	22
3.2 DESCRIPCIÓN INICIAL DE LA ESTACIÓN FMS 2101	22

3.2.1	Estructura de la Estación FMS.....	23
3.2.2	Elementos de la estación FMS 2101.....	25
3.2.3	Funcionamiento de la Estación de Maquinado.....	30
CAPÍTULO 4	34
NUEVA PLATAFORMA DE LA ESTACIÓN FMS	34
4.1	INTRODUCCIÓN.....	34
4.2	ESTRUCTURA DE LA ESTACIÓN CON EL NUEVO PLC.....	34
4.3	DESCRIPCIÓN FÍSICA DE LA ESTACIÓN FMS 2101	36
4.3.1	PLC Allen Bradley Compact Logix 5000.....	38
4.3.1.1	La fuente de alimentación.....	40
4.3.1.2	El controlador del PLC.....	41
4.3.1.3	Módulos entradas y salidas digitales.....	42
4.3.2	Elementos de maquinado.....	43
4.3.3	Transporte de la materia prima.....	43
4.4	SEÑALES DE ENTRADAS Y SALIDAS DEL PLC	45
4.4.1	Descripción física de las entradas y salidas del puerto GPIO.....	47
4.5	CONVERTIDOR DE SEÑALES.....	49
4.6	POSICIONES Y PINES	53
4.6.1	Posiciones del brazo robótico.....	53
4.6.2	Posiciones del riel.....	54
4.6.3	Torno.....	55
4.6.4	Fresadora.....	55
4.7	SEÑALES DE ENTRADAS Y SALIDAS DEL PLC	56
4.8	IDENTIFICACIÓN DE SEÑALES DE LA INTERFAZ DE ACOPLAMIENTO.....	57
CAPÍTULO 5	59
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN	59
5.1	INTRODUCCIÓN.....	59
5.2	FUNDAMENTOS DE DISEÑO.....	59
5.3	DIAGRAMA DE CONEXIONES DE LOS DISPOSITIVOS.....	60
5.4	DIAGRAMAS DE FLUJO	62
5.4.1	Descripción del diagrama general de flujo.....	62
5.4.2	Descripción del diagrama de flujo del Cilindro.....	62
5.4.3	Descripción del diagrama de flujo del Prisma.....	64
5.4.4	Diagrama general de flujo sistema automático.....	66
5.4.5	Diagrama de flujo del cilindro.....	67
5.4.6	Diagrama de flujo del prisma	68
5.5	SOFTWARE DESARROLLADO	69
5.5.1	Programación del PLC en el RSlogix 5000.....	69
5.5.2	Características.....	69
5.5.3	Tags y Conjunto de instrucciones.....	70
5.5.4	Creación de tags o etiquetas.....	71
5.5.5	Tipos de datos de la etiqueta.....	72
5.5.6	Estilo de una etiqueta.....	73
5.5.7	Programación en escalera.....	73
5.5.8	Programación del Brazo Robótico.....	78
5.5.9	Diseño Factory Talk View.....	80
5.6	EXPLICACION DEL PROGRAMA.....	88
5.7	PROGRAMA RSLOGIX.....	102
5.8	PROGRAMA ROBCOM	152

CAPÍTULO 6.....	155
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	155
6.1 CONCLUSIONES.....	155
6.2 RECOMENDACIONES.....	157
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	159
ANEXO 1.....	161
CIRCUITO INVERSOR DE SEÑALES.....	161
ANEXO 2.....	162
RUTEO DEL CIRCUITO INVERSOR DE SEÑALES.....	162
ANEXO 3.....	163
PINES DEL CONECTOR DD50 (PUERTO DE ENTRADAS Y SALIDAS DE PROPÓSITO GENERAL GPIO).....	163
ANEXO 4.....	165
COMANDOS ROBCOM.....	165
ÍNDICE DE FIGURAS.....	167
ÍNDICE DE TABLAS.....	171
GLOSARIO.....	172

ANTECEDENTES

El Sistema de Manufactura Integrado por Computadora, (Computer Integrated Manufacturing-CIM), se lo introdujo, como término, a inicios de los años 70, en donde se comenzó a hablar de la integración de computadoras para realizar procesos industriales. Con el transcurso de los años y el avance de tecnología, hoy en día se cuenta con computadoras muy sofisticadas y eficientes, que permiten hacer procesos cada vez más complejos y productos de alta calidad.

Dentro del Departamento de Eléctrica y Electrónica, en el Área de Automatización y Control, se dispone del laboratorio CIM 2000, donde se emulan a los procesos de Manufactura Integrada por Computadora, utilizados en la mayoría de las Empresas y Fábricas de todo el Mundo.

Los conceptos utilizados y empleados en cada estación que componen al CIM 2000, permiten ayudar a comprender a detalle la teoría de forma práctica, haciendo del CIM 2000 un sistema de entrenamiento poderoso y práctico para la automatización de los procesos de producción.

Como parte del proceso del CIM 2000 se encuentra La Estación FMS-2101 la misma que consiste en un grupo de máquinas y dispositivos los cuales procesan la materia prima, cumpliendo con las especificaciones requeridas por la planta.

JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

El presente proyecto tiene como finalidad, actualizar la plataforma con que se maneja el laboratorio CIM 2000 del departamento de Electrónica de la Escuela Politécnica del Ejército.

La nueva tendencia de comunicación revela que tanto los robots, CNC's, y controladores mantienen un lenguaje de buses de campo o Ethernet, este proyecto permite tener un acercamiento a esas nuevas tendencias direccionados a los sistemas de fabricación flexible.

Con la tecnología existente de los PLC's MODICOM se tiene limitaciones en la comunicación con las diferentes estaciones que componen el laboratorio CIM 2000.

Con la implementación de este proyecto el Departamento de Eléctrica y Electrónica obtiene un laboratorio re potenciado con una tecnología de última generación de tal manera que los estudiantes estén en capacidad de desarrollar destrezas en el medio laboral e industrial.

El proyecto busca reemplazar la anterior comunicación, por otro elemento coordinador que es un nuevo PLC de la familia Allen Bradley; esto permitirá como beneficios tener una estación con capacidad de supervisión mejorada ya que se consigue trabajar con nuevas señales al proceso.

CAPÍTULO 1

SISTEMA DE MANUFACTURA FLEXIBLE

1.1 INTRODUCCIÓN

En muchos artículos del mundo entero se debate el avance que tienen la tecnología, y se discute si en un futuro no muy lejano las máquinas puedan superar al ser humano, pero el objetivo que el hombre tiene al crear las máquinas no es un desplazamiento de la raza humana, sino una ayuda en cuanto a las tareas que realizan los hombres.

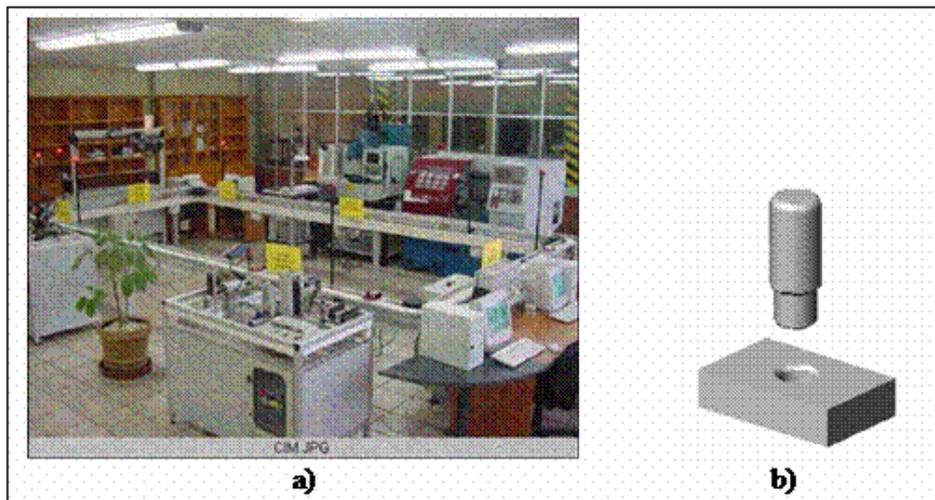
La tecnología va caminando a pasos agigantados pero el hombre no puede ni debe quedarse en el camino, y de hecho no lo hace, pues en muchas de las aplicaciones el hombre también se ve involucrado, no como un manipulador directo de la materia prima, pero sí como un creador del sistema, controlador, supervisor, etc.

Una de estas aplicaciones se puede ver en el laboratorio del CIM 2000 de la Escuela Politécnica del Ejército, los cuales están siendo muy utilizados en la parte industrial de todo el mundo ya que se enfocan al desarrollo de procesos automatizados para la fabricación de piezas.

El CIM es un laboratorio donde se incluyen elementos robóticos, mecanismos hidráulicos y neumáticos para diversos propósitos como lo son: maquinados, inspección, transporte, almacenamiento, ensamble, entre otros, formando un sistema altamente automatizado como se muestra en la figura 1.1 a) y obteniéndose piezas elaboradas como se puede ver en la figura 1.1 b). El

ensamble manual se clasifica con frecuencia como una operación no calificada, sin embargo, en el diseño de robots se pretende obtener estabilidad y precisión.

La automatización supone un cambio en la operación así como en el uso de los equipos de cómputo para las actividades gerenciales y de toma de decisiones de una organización manufacturera.



**Figura. 1.1. a) Laboratorio de manufactura integrado por computadora CIM
b) Ejemplo de piezas maquinadas**

Este capítulo muestra desarrollo histórico del origen y avance de los Sistemas de Manufactura Flexible para luego ver una descripción general analizada conceptualmente. Los componentes de hardware, software y la mano de obra humana, la integración de cada uno de estos componentes que permiten un maquinado de las piezas.

1.2 DESARROLLO HISTÓRICO DE SISTEMAS DE MANUFACTURA

El punto de partida de los procesos de manufactura moderno pueden acreditarse a ELI WHITNEY con su máquina despepitadora de algodón sus principios de fabricación intercambiables o su máquina fresadora sucedidos todos ellos por los años de 1880, en esa época aparecieron otro procesos industriales a consecuencia de la guerra civil en los Estados Unidos que proporcionó un nuevo impulso al desarrollo de procesos de manufactura de aquel país.

El origen de la experimentación y análisis en los procesos de manufactura se acreditaron en gran medida a FRED W. TAYLOR quien un siglo después de Whitney publicó los resultados de sus trabajos sobre el labrado de los metales aportando una base científica para hacerlo.

El contemporáneo Miron L. Begeman y otros investigadores o laboratoristas lograron nuevos avances en las técnicas de fabricación, estudios que han llegado a aprovecharse en la industria. [1]

El conocimiento de los principios y aplicaciones de los servomecanismos, electricidad, electrónica y las computadoras hoy día permiten al hombre la producción de las máquinas.

1.3 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS FMS

Un Sistema de Manufactura Flexible resulta de un nuevo enfoque de la producción. La tecnología ha creado sistemas altamente automatizados. Es una filosofía de la producción que se basa en el control efectivo del flujo de materiales a través de una red de estaciones de trabajo. Es muy versátil y compatible con diferentes grados de automatización. El Sistema de Manufactura Flexible está integrado por máquinas y herramientas enlazadas mediante un sistema de manejo de materiales automatizado como se puede ver en la figura 1.2 que opera automáticamente con tecnología convencional o al menos por un CNC. [1]



Figura. 1.2. Componentes del FMS

Los sistemas de manufactura flexible son capaces de procesar una variedad de tipos de partes simultáneamente conforme a un programa controlado CNC. [3] Son una combinación de las siguientes tecnologías:

- Automatización flexible.
- Tecnología de grupos.
- Máquinas herramienta CNC.
- Sistema de manejo automatizado de materiales.

Manufactura.- La palabra manufactura se deriva del latín manu factus, que significa hecho a mano. La palabra manufactura apareció por primera vez en 1567, y la palabra manufacturar en 1683. En el sentido moderno, la manufactura involucra la fabricación de productos a partir de materias primas mediante varios procesos, maquinarias y operaciones, a través de un plan bien organizado para cada actividad requerida.

La manufactura, en su sentido más amplio, es el proceso de convertir la materia prima en productos. Incluye el diseño del producto, la selección de la materia prima y la secuencia de procesos a través de los cuales será manufacturado el producto. [4]

Flexibilidad.- Es la habilidad de una entidad para desplegar y replegar sus recursos de forma eficaz y eficiente en respuesta a las condiciones cambiantes. [2] Esta variabilidad del entorno puede adoptar las siguientes formas:

- En la demanda
- En el suministro
- En los productos
- En los procesos
- En el equipamiento y mano de obra

1.4 COMPONENTES DE LAS FMS

Una FMS consta de varias máquinas-herramientas controladas numéricamente por computador cada una de ellas es capaz de realizar muchas operaciones debido a la versatilidad de las máquinas-herramientas y a la capacidad de intercambiar herramientas de corte con rapidez (en segundos). Estos sistemas son relativamente flexibles respecto al número de tipos de piezas que pueden producir de manera simultánea y en lotes de tamaño reducido (a veces unitario). Estos sistemas pueden ser de mayor complejidad que un taller de trabajo y al mismo tiempo tener la capacidad de alcanzar la eficacia de una línea de ensamble bien balanceada.

Las herramientas pueden ser entregadas al FMS tanto en forma manual como automática. Por ejemplo a través de vehículos guiados automatizados.

Los FMS disponen de un sistema de manejo de materiales automatizado que transporta las piezas de una máquina a otra hacia dentro y fuera del sistema. Puede tratarse de vehículos guiados automáticamente (AGV) o de carros remolcados.

El empleo de los FMS permite flexibilidad productiva, gestión en tiempo real y acelerado nivel de automatización general, para obtener productos listos para ser ensamblados.

En un sistema de manufactura flexible existen tres componentes principales:

Almacenamiento y manejo de partes. Es una instalación para guardar los materiales con un conjunto de plataformas de transporte (palets) o porta piezas, para la fijación de partes en una estación para carga y descarga y un sistema de transporte primario que conecta las estaciones entre si y un sistema de transporte secundario entre las estaciones de trabajo.

Herramientas. Las herramientas de las máquinas que poseen cabezales van acopladas allí.

Sistemas de control por computador. Están constituidos por computadores, controladores programables, sensores y la red de comunicación. En las estaciones de trabajo se encuentran diferentes el centro de mecanizado, sistema de cabezales fijos, permanentes o de intercambios. [1]

Un sistema de cómputo debe tener los siguientes archivos:

- Programa para control numérico de partes.
- Hojas de ruta
- Programa de producción de partes
- Referencia de porta piezas
- Localización de herramientas
- Vida útil de las herramientas.

Los objetivos del FMS son:

- Incremento de la utilización del equipo y capital.
- Reduce al inventario en proceso y el tiempo de preparación.
- Reducción de inventario y pequeños lotes.
- Reducción de fuerza de trabajo.
- Facilidad para adaptarse rápidamente a los cambios de diseño.
- Consistencia en la calidad.
- Reducción del riesgo como resultado del fracaso de un producto
- Control gerencial conciso.
- Mejoramiento de la imagen en el mercado / credibilidad.
- Reduce el requerimiento de espacio en el piso de producción. [2]

1.5 INTEGRACIÓN DE LOS COMPONENTES DE UN SISTEMA DE MANUFACTURA FLEXIBLE

Un FMS consiste en un hardware y un software que deben integrarse en una unidad eficiente y confiable.

1.5.1 Componentes de hardware. Un sistema de manufactura flexible incluye estaciones de trabajo, un sistema de manejo de material y una computadora de control central. Las estaciones de trabajo incluyen máquinas CNC en un sistema de tipo maquinado, además de estaciones de inspección, de limpieza de piezas y otras, según se necesiten.

El sistema de manejo de material es el medio para mover las piezas entre las estaciones e incluye una capacidad limitada para almacenar. Entre los sistemas de manejo para la manufactura automatizada están:

- Los transportadores de rodillos
- Los carros enganchados en el piso
- Los vehículos guiados en forma automática
- Los robots industriales de transporte de material. [5]

En el laboratorio del CIM 2000 de la Escuela Politécnica del Ejército el sistema de transportación de las piezas o materia prima, se lo realiza por medio de una banda transportadora que es básicamente un vehículo guiado en forma automática, mientras que en la estación FMS 2101 el sistema de transportación de la pieza es por medio de un robot con la ayuda de un riel, que se desplaza longitudinalmente de tal manera que se puede cubrir las distancias entre una ubicación inicial de la pieza y la posición del torno y fresa.

Con frecuencia las piezas no rotatorias se mueven en un FMS sobre tarimas fijas, por lo que estas están diseñadas para el sistema de manejo particular y los soportes se diseñan para alojar las diversas configuraciones geométricas de piezas en la familia.

El sistema de manejo establece la distribución básica del FMS de donde pueden distinguirse cinco tipos de distribución:

- En línea
- En ciclo
- En escalera

- A campo abierto
- Celda centrada

El diseño en línea usa un sistema de transferencia lineal para mover las piezas entre las estaciones de procesamiento y las de carga/descarga como se puede ver en la figura 1.3. El sistema de transferencia en línea generalmente tiene capacidad de movimiento de dos direcciones, de lo contrario el FMS opera en forma muy parecida a una línea de transferencia, y los diferentes estilos de piezas hechos en el sistema deben seguir la misma secuencia básica de procesamiento debido al flujo en una dirección. [5]

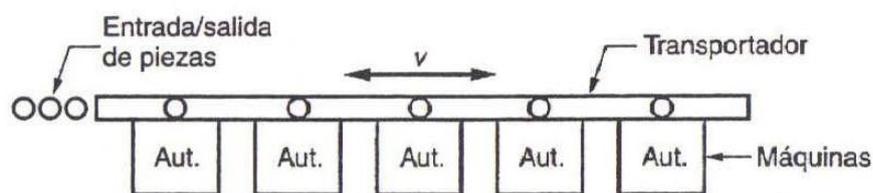


Figura. 1.3. Distribución en línea

La distribución en ciclo consiste en un transportador o ciclo con estaciones de trabajo ubicadas en su periferia. Esta configuración permite cualquier secuencia de procesamiento, debido a que es posible acceder a cualquier estación desde otra.

En la distribución en escalera las estaciones de trabajo se ubican en los peldaños de la escalera y al igual que la distribución en ciclo esta configuración permite cualquier secuencia de procesamiento, debido a que es posible acceder a cualquier estación desde otra, como se puede ver en la figura 1.4

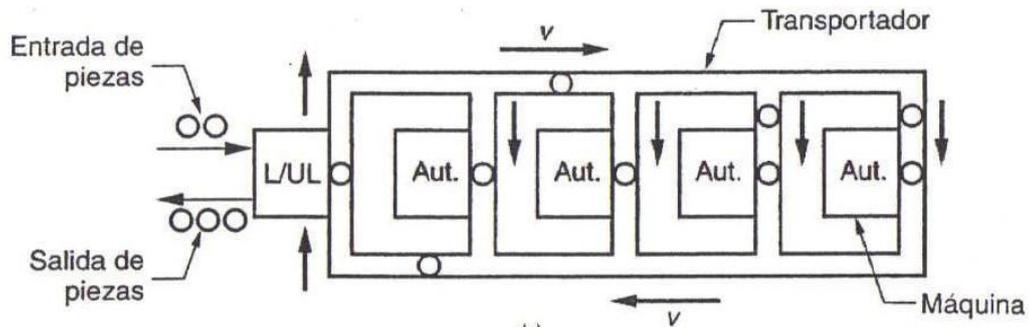


Figura 1.4. Distribución en escalera

La distribución a campo abierto es la configuración de FMS más compleja y consiste en varios ciclos enlazados, como se puede ver en la figura 1.5

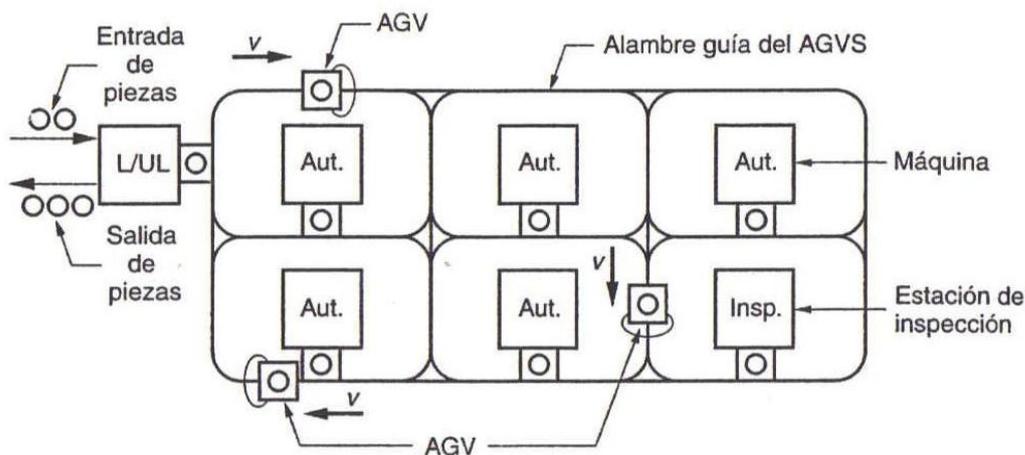


Figura 1.5. Distribución a campo abierto

Una celda centrada en un robot consiste en un robot cuyo volumen de trabajo incluye las posiciones de carga/descarga de las máquinas en las celdas.

El FMS incluye también una computadora central que hace interfaz con otro componente del hardware. Además de la computadora central, las máquinas individuales y otros componentes generalmente tienen microcomputadoras como sus unidades de control individual. La función de la computadora central es coordinar las actividades de los componentes para obtener una operación general del sistema que sea continuo. Esta función se realiza por medio del software de aplicación.

1.5.2 Software de un FMS y funciones de control. El software de un FMS consiste en módulos asociados con las diversas funciones que ejecuta el sistema de manufactura. Por ejemplo, una función implica cargar programas de piezas CN a las máquinas herramientas individuales; otra función se relaciona con el control del sistema de manejo del material; otra se refiere a la administración de las herramientas. En la tabla 1.1 se presenta una lista de funciones incluidas en la operación de un FMS típico. Con cada función se asocian uno o más módulos del software, en una instalación determinada puede usarse términos diferentes a los de la tabla 1.1. Las funciones y módulos son en gran parte, para una aplicación específica.[5]

1.5.3 Mano de obra humana. Este es un componente adicional en la operación de un sistema flexible de manufactura. Entre las actividades que realizan los trabajadores están:

- Cambiar y preparar las herramientas de corte.
- Dar mantenimiento y reparar el equipo.
- Programación de piezas con control numérico.
- Programación y operación del sistema de computadoras.
- Administración general del sistema.

Función	Descripción
Programación de piezas por CN	Desarrollo de programas de CN para piezas nuevas introducidas en el sistema. Esto incluye un paquete de lenguaje, como APT.
Control de producción	Mezcla de productos, programación de maquinado y otras funciones de planeación.
Copia de programas por CN	Los comandos del programa de piezas deben copiarse a las estaciones individuales desde la computadora central.
Control de máquina	Las estaciones de trabajo individuales requieren controles, usualmente control numérico por computadora.
Control de pieza de trabajo	Monitoreo del estado de cada pieza de trabajo en el sistema, el estado de los soportes de tarima, los pedidos en los soportes de las tarimas para carga/descarga.
Administración de herramientas	Las funciones incluyen control de inventario de herramientas, estado de las herramientas en relación con su ciclo de vida, el cambio y reformado de herramientas, y el transporte desde y hacia el esmerilado de herramientas.
Control de transporte	Programación y control del sistema de manejo de piezas de trabajo.
Administración del sistema	Compilación de los reportes de administración sobre el desempeño (utilización, cuenta de piezas, velocidades de producción, etc.); a veces se incluye la simulación de un FMS.

Tabla. 1.1. Funciones típicas de computadoras instrumentadas mediante módulos de software de aplicación de un sistema flexible de manufactura

1.6 PLANEACIÓN DEL FMS

El adquirir e implementar un FMS representa una mayor inversión y compromiso por la compañía. Es importante que la instalación del sistema sea precedido por un completo procedimiento de planeación y diseño. Los factores a tomarse en cuenta son:

- Volumen de trabajo producido por el sistema. Cantidad y tipo de material.
- Variaciones en la rutina del proceso. Secuencias, incremento en la variedad del producto, el ciclo y distribución.
- Características físicas del trabajo tamaño y peso.
- Familia de partes definidas.
- Requerimientos de mano de obra
- Mínimo número de maquinaria. [2]

CAPÍTULO 2

COMUNICACIÓN

2.1 INTRODUCCIÓN

La comunicación entre las estaciones es parte principal de una buena ejecución y un correcto desenvolvimiento de los sistemas que componen el CIM, por esto es necesario considerar ciertos aspectos que garanticen un desempeño eficiente en la transmisión y recepción de datos, entre los que se menciona:

- Bus de campo
- Topología
- Capacidad del canal

Las redes Ethernet son parte principal del protocolo de comunicación de la estación es por ello que en este capítulo se ve ciertas características que presenta y las distintas normas de automatización que existen.

2.2 BUSES DE CAMPO

Físicamente podemos considerar a un bus como un conjunto de conductores conectando al mismo tiempo más circuitos para permitir el intercambio de datos.

2.2.1 Buses de Campo Existentes. Debido a la falta de estándares, diferentes compañías han desarrollado diferentes soluciones, cada una de ellas con diferentes prestaciones y campos de aplicación. En una primera clasificación tenemos los siguientes grupos:

2.2.1.1 Buses de alta velocidad y baja funcionalidad. Están diseñados para integrar dispositivos simples como finales de carrera, fotocélulas, relés y actuadores simples, funcionando en aplicaciones de tiempo real, y agrupados en una pequeña zona de la planta, típicamente una máquina. Básicamente comprenden las capas física y de enlace del modelo OSI, es decir, señales físicas y patrones de bits de las tramas. Algunos ejemplos son:

- CAN: Diseñado originalmente para su aplicación en vehículos.
- SDS: Bus para la integración de sensores y actuadores, basado en CAN
- ASI: Bus serie diseñado por Siemens para la integración de sensores y actuadores.

2.2.1.2 Buses de alta velocidad y funcionalidad media. Se basan en el diseño de una capa de enlace para el envío eficiente de bloques de datos de tamaño medio. Estos mensajes permiten que el dispositivo tenga mayor funcionalidad de modo que permite incluir aspectos como la configuración, calibración o programación del dispositivo. Normalmente incluyen la especificación completa de la capa de aplicación, lo que significa que se dispone de funciones utilizables desde programas basados en PCs para acceder, cambiar y controlar los diversos dispositivos que constituyen el sistema. Algunos incluyen funciones estándar para distintos tipos de dispositivos (perfiles) que facilitan la inter-operabilidad de dispositivos de distintos fabricantes. Algunos ejemplos son:

- DeviceNet: Desarrollado por Allen-Bradley, utiliza como base el bus CAN, e incorpora una capa de aplicación orientada a objetos.
- LONWorks: Red desarrollada por Echelon.
- BitBus: Red desarrollada por INTEL.
- DIN MessBus: Estándar alemán de bus de instrumentación, basado en comunicación RS-232.
- InterBus-S: Bus de campo alemán de uso común en aplicaciones medias.

2.2.1.3 Buses de altas prestaciones. Son capaces de soportar comunicaciones a nivel de todos los niveles de la producción CIM. Aunque se

basan en buses de alta velocidad, algunos presentan problemas debido a la sobrecarga necesaria para alcanzar las características funcionales y de seguridad que se les exigen. La capa de aplicación tiene un gran número de servicios a la capa de usuario, habitualmente un subconjunto del estándar MMS. Entre sus características incluyen:

- Redes multi-maestro con redundancia.
- Comunicación maestro-esclavo según el esquema pregunta-respuesta.
- Recuperación de datos desde el esclavo con un límite máximo de tiempo
- Capacidad de direccionamiento unicast, multicast y broadcast,
- Petición de servicios a los esclavos basada en eventos.
- Comunicación de variables y bloques de datos orientada a objetos.
- Descarga y ejecución remota de programas.
- Altos niveles de seguridad de la red, opcionalmente con procedimientos de autenticación.
- Conjunto completo de funciones de administración de la red.

Algunos ejemplos son:

- Profibus.
- WorldFIP.
- Fieldbus Foundation.[6]

2.3 CAPACIDAD DEL CANAL

Se denomina capacidad del canal a la velocidad máxima a la que se pueden transmitir los datos en un canal o ruta de comunicación de datos, bajo unas condiciones dadas.

- *La velocidad de transmisión de los datos* es la velocidad expresada en bit por segundo (bps), a la que se pueden transmitir los datos.
- *El ancho de banda* de la señal transmitida; este estará limitado por el transmisor y por la naturaleza del medio de transmisión; se mide en ciclos por segundos o hercios.

- *El ruido*, nivel medio de ruido a través de la transmisión.[7]

2.4 TOPOLOGÍA

2.4.1 Topología física. La forma en que los cables y dispositivos están conectados se puede ver en la figura 2.1. Esta topología física puede tomar las siguientes formas:

- **Bus:** Todos los host se conectan a un solo cable (Backbone)
- **Anillo:** Conecta un host con el siguiente y al último host con el primero.
- **Estrella:** Conecta todos los cables con un punto central de concentración, puede trabajar más extensamente conectando varias estrellas entre sí.
- **Jerárquica:** El sistema se conecta con un computador que controla el tráfico de la topología.
- **Malla:** Todos los host se conectan con el resto de los mismos.

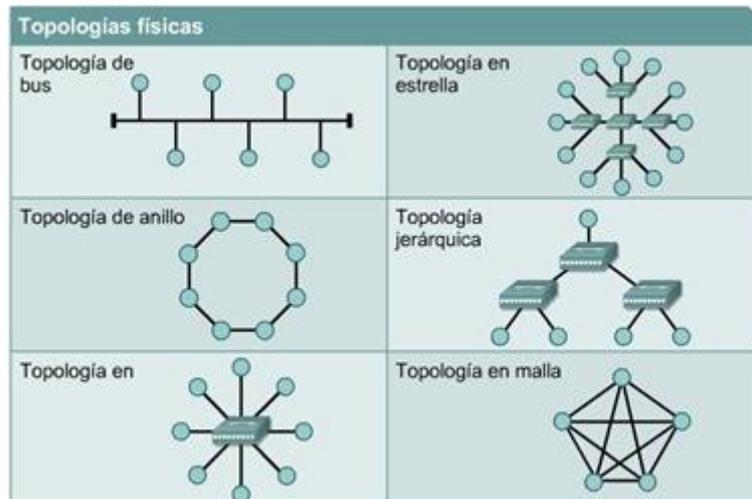


Figura. 2.1. Topologías Físicas

2.4.2 Topología lógica. El modo como se comunican los host a través del medio, existen dos tipos como se puede ver en la figura 2.2

- **Broadcast:** Cada host envía sus datos a todos los demás host.
- **Tokens:** El acceso a la red se lleva a cabo mediante envío de tokens, cuando un host recibe el token puede enviar datos, si no tiene nada que

enviar, envía el token a otro host. Como ejemplo tenemos las redes Token Ring y FDDI. [8]

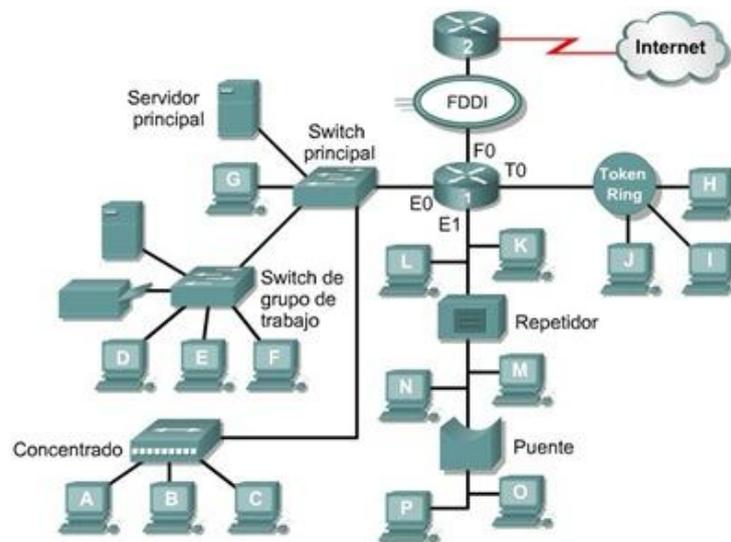


Figura. 2.2. Varias topologías conectadas entre sí

2.4.3 Topología CIM. La topología que se tenía implementada en el laboratorio CIM 2000 era de estrella donde las estaciones estaban conectadas directamente a un punto central y todas las comunicaciones se debían hacer necesariamente a través de éste y se tenía el problema que si este nodo principal falla, colapsa todo el sistema.

Ahora se tiene una topología de bus la cual se caracteriza por tener un único canal de comunicaciones donde se conectan los diferentes dispositivos. De esta forma todos los dispositivos comparten el mismo canal para comunicarse entre sí, con lo que puede existir un fácil monitoreo, implementación y crecimiento de la red.

2.5 REDES ETHERNET

La norma IEEE 802.3 que se puede ver en el anexo 1 basada en la red Ethernet de Xerox se ha convertido en el método más extendido para interconexión de computadores personales en redes de proceso de datos. En la actualidad se vive una auténtica revolución en cuanto a su desplazamiento hacia las redes industriales. Es indudable esa penetración. Diversos buses de campo

establecidos como Profibus y Modbus han adoptado Ethernet como la red apropiada para los niveles superiores.

Un Sistema estándar y “clásico” de Ethernet utiliza un cable coaxial, especial, de 50 Ω “Ethernet grueso” en una consideración de bus. Se permiten hasta 100 nodos en una longitud de bus de 500 m. los datos se transmiten por el bus mediante el código Manchester a una tasa de 10 megabits por segundo. Este sistema recibe comúnmente el nombre de 10base5, lo cual significa 10 Mb/s, banda base, 500 m de longitud. [9]

2.6 REDES INDUSTRIALES ETHERNET

Ethernet es un estándar de redes de computadoras de área local con acceso al medio por contienda CSMA/CD. El nombre viene del concepto físico de *ether*. Ethernet define las características de cableado y señalización de nivel físico y los formatos de tramas de datos del nivel de enlace de datos del modelo OSI.

La Ethernet se tomó como base para la redacción del estándar internacional IEEE 802.3. Usualmente se toman Ethernet e IEEE 802.3 como sinónimos. Ambas se diferencian en uno de los campos de la trama de datos. Las tramas Ethernet e IEEE 802.3 pueden coexistir en la misma red.

Ethernet es aceptado en la industria debido a ciertas características como son:

Amplia aceptación: Ethernet es un protocolo ampliamente aceptado que cuenta con el apoyo de la IEEE y de los comités internacionales de Estandarización. Además, Ethernet cuenta con una importante difusión en aplicaciones ofimáticas.

Velocidad: Los últimos avances en tecnología Ethernet incluyen Fast Ethernet y Gigabit Ethernet. Fast Ethernet (100 Mbit/s) es actualmente una tecnología de vanguardia. Gigabit Ethernet, con sus 1000 Mbit/s, se considera la tecnología del futuro.

Integración con Internet/ Intranet: Todas las redes Ethernet instaladas son compatibles con protocolos de comunicaciones que implican una sofisticada transferencia de datos y las características propias de la administración de redes. El más extendido es el protocolo TCP/IP, debido a sus posibilidades de conexión a Internet y a intranets corporativas. Las “islas” de control son, por lo tanto, una reliquia del pasado. Ethernet permite implantar una comunicación universal desde el nivel de campo hasta el nivel de gestión, e incluso abarcar todo el mundo.

2.6.1 Modo de Operación: Originalmente, Ethernet se basaba en el procedimiento CSMA/CD, lo que implicaba la necesidad de que el usuario que deseaba enviar algo observase la red e iniciase el envío cuando esta estuviese libre. Podía ocurrir que varios usuarios desearan iniciar un envío simultáneamente, si todos consideraban que la red estaba libre.

Cuando se detectaba esta colisión, los usuarios se veían obligados a detener la transmisión y volver a intentarlo tras un tiempo de espera controlado de manera aleatoria, lo que contribuía a evitar otra futura colisión con un elevado grado de probabilidad. Este tipo de acceso tiene un principio no determinista que, en el mejor de los casos, permite obtener estadísticas sobre las opciones de acceso a la red.

2.6.2 Capacidad en tiempo real: Si el sistema de comunicaciones satisface los requisitos temporales de una aplicación específica, se considera que las comunicaciones son en tiempo real (desde el punto de vista de dicha aplicación). En ese caso, se entiende que los mensajes llegarán en una ventana de tiempo específica y, por lo tanto, que la aplicación puede controlarse con una precisión adecuada (tiempo real flexible). Por otro lado, si se requiere que las comunicaciones estén obligatoriamente garantizadas y que se realicen en un instante específico preciso, se habla de tiempo real estricto.

2.6.3 Probabilidad de colisión: Si se produce poco intercambio de datos en la red, la probabilidad de colisión es muy baja. No obstante, esta probabilidad aumenta exponencialmente con el incremento del intercambio de datos. Muchos enfoques asumen que con una utilización de la red inferior al 10%

se pueden evitar las colisiones. Sin embargo, el problema reside en que, por un lado y de todos modos, se pueden producir colisiones aunque la probabilidad sea muy pequeña, y por otro, que el ancho de banda utilizado por Ethernet sigue siendo muy bajo.

2.6.4 Segmentación mediante switches: La segmentación, es decir, dividir las redes mediante switches, constituye un enfoque totalmente diferente ya que permite evitar por completo las colisiones. Cada usuario de la red se conecta a través de un switch, es decir, sólo existen conexiones casi punto a punto, que se denominan “dominios de colisión”. Independientemente del coste, un aspecto fundamental es que los switches son inteligentes, analizan los paquetes de datos entrantes y los direccionan exclusivamente de la manera estipulada. De este modo se consigue una latencia mucho mayor que con los concentradores puros que, además, están sujetos a fluctuaciones que se traducen en desviaciones temporales pulsadas.

2.6.5 Determinismo en las redes El determinismo es un concepto clave en muchas redes industriales, por la sencilla razón de que con una red determinista se puede afirmar sin lugar a dudas que un evento determinado se ha producido en una ventana de tiempo concreta.

La tecnología CSMA/CD utilizada en los sistemas Ethernet originales hacía imposible el determinismo, pero con la aparición del switch Ethernet las cosas han cambiado. Las colisiones en la infraestructura de cables han desaparecido por completo. Las conexiones con par trenzado o fibra óptica son punto a punto y pueden ser full dúplex. Cada paquete que se envía a un switch se almacena y se retransmite al puerto de destino correcto. Si ese puerto está ocupado, el switch espera, por lo que no se producen colisiones ni retransmisiones. El único problema es la espera en cola que puede producirse. Sin embargo, los switches modernos incorporan funciones que garantizan que la cola no se convierta nunca en un problema. Los paquetes Ethernet se pueden configurar de manera que incluyan una etiqueta de prioridad. Si el switch soporta la función de priorización, el paquete pasa a ocupar el primer puesto de la cola. Otra función útil en el control del flujo de datos es la prevención del bloqueo HOL (Head of Line), que constituye

un problema en algunos switches que utilizan el sistema de memoria intermedia FIFO (primero en entrar, primero en salir), lo que significa que si un paquete se retiene en la cabeza de la cola, toda la cola se bloquea. Algunos switches incluyen un método para evitar este problema.

2.6.6 Organización de las comunicaciones: El intercambio de datos entre las estaciones se organiza en base al tiempo, para evitar así las colisiones y hacer el mejor uso posible del ancho de banda Ethernet existente.

2.6.7 Normas de automatización: La disponibilidad de soluciones en tiempo real resultará crucial para que Ethernet gane aceptación en el sector de la automatización. Actualmente, este requisito está contemplado en cinco protocolos como se puede ver en la tabla 2.1, algunos de los cuales se encuentran recogidos bajo el paraguas de la asociación IAONA.

Velocidades:

Organization	Response time (for 100 axes)	Jitter	Data rate
Ethernet/IP CIPSync ODVA	≈ 1ms	<1ms	100Mbit/s
Ethernet Powerlink EPSP	<1ms	<1ms	100Mbit/s
Profinet-IRT PNO	<1ms	<1ms	100Mbit/s
Sercos-III IGS	<0.5ms	<0.1ms	100Mbit/s
EtherCAT ETG	≈ 0.1ms	<0.1ms	100Mbit/s

Tabla. 2.1. Protocolos de la Asociación IAONA

EtherCAT Significa "Ethernet para el Control de Tecnología de automatización." Se trata de un código abierto, sistema de alto rendimiento que pretende utilizar protocolos de Ethernet en un entorno industrial.

PROFINet Se aplica a los sistemas de automatización distribuida basados en Ethernet que integran los sistemas de bus de campo existentes, por ejemplo PROFIBUS, sin modificarlos.

Powerlink El objetivo del desarrollo de Ethernet Powerlink consistió en aplicar la tecnología Ethernet estándar a la ingeniería de automatización, en condiciones de tiempo real adversas.

Ethernet/IP: A principios de 1998 un grupo de interés especial de ControlNet International definió un procedimiento para el uso en Ethernet del protocolo de aplicación DeviceNet.

Modbus TCP/IP: Es una variante o extensión del protocolo Modbus que permite utilizarlo sobre la capa de transporte TCP/IP. De este modo, Modbus-TCP se puede utilizar en Internet, de hecho, este fue uno de los objetivos que motivó su desarrollo.

SERCOS: SERCOS III combina los mecanismos en tiempo real establecidos de SERCOS y estandarizó el sistema del parámetro con las comunicaciones universales basadas en Ethernet industrial.

CC-Link IE: CC-Link IE es un nuevo estándar para el Ethernet industrial abierto gestionado por la CC-Link Partner Association (CLPA). Su diseño se ha realizado a partir de las exigencias de los fabricantes y de los usuarios de procesos a escala mundial. [10]

CAPÍTULO 3

HARDWARE ORIGINAL DE LA ESTACIÓN DE MAQUINADO

3.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se explica el funcionamiento de la estación FMS 2101 antes de la incorporación del nuevo PLC, así como los elementos que forman parte de esta estación originalmente. Se muestra como cada dispositivo realiza una acción determinada y los factores que intervienen para desarrollar dicha acción.

Se describe la conexión y el proceso que siguen las señales que intervienen durante la ejecución y funcionamiento de esta área de trabajo. El manejo y direccionamiento de las señales se realiza desde el controlador del robot por tanto se explica cómo este controlador direcciona cada uno de estos bits.

3.2 DESCRIPCIÓN INICIAL DE LA ESTACIÓN FMS 2101

Luego de haber conocido en capítulos anteriores que es una estación FMS, las características de la misma en forma general y su actividad, se describe a continuación cual era en un principio el funcionamiento, estructura y elementos que constituían la estación FMS 2101 del CIM 2000.

Haciendo referencia a las partes que conforman el área de maquinado, se da a conocer que todos los componentes inmersos en esta área y de correcto funcionamiento para la producción, son extremadamente importantes ya que cada uno de ellos cumple a cabalidad con su labor y así forman una excelente compatibilidad de comunicación, acción y entendimiento. Cada uno ejecuta una

acción determinada y por ende es capaz de entregar y recibir toda la información necesaria para cumplir y hacer cumplir las tareas encargadas.

3.2.1 Estructura de la Estación FMS. Cada elemento posee un funcionamiento totalmente independiente, y realizan funciones que no se asemejan entre sí, sin embargo, todos los dispositivos se encuentran acoplados por un elemento central que en este caso es el controlador del robot que cumple las funciones de controlador de la estación.

Como se puede apreciar la figura 3.8 muestra un esquema gráfico con la estructura e interconexión de las partes que conforman la estación de maquinado, las mismas que actúan conjuntamente con el único objetivo de conseguir un producto final bien elaborado. El buen desempeño de cada una de las partes es muy importante ya que todas dependen de todas y si una no realiza la tarea establecida o no la realiza bien, la siguiente no podrá continuar con el proceso.

Además se observan los enlaces entre dispositivos, es decir se puede apreciar que elementos se comunican entre sí. Obviamente el controlador robótico es el que maneja y centraliza todas las señales, pero no tiene acceso ni permiso para actuar directamente en algunos elementos, pues existe una conexión inicial hacia el armario.

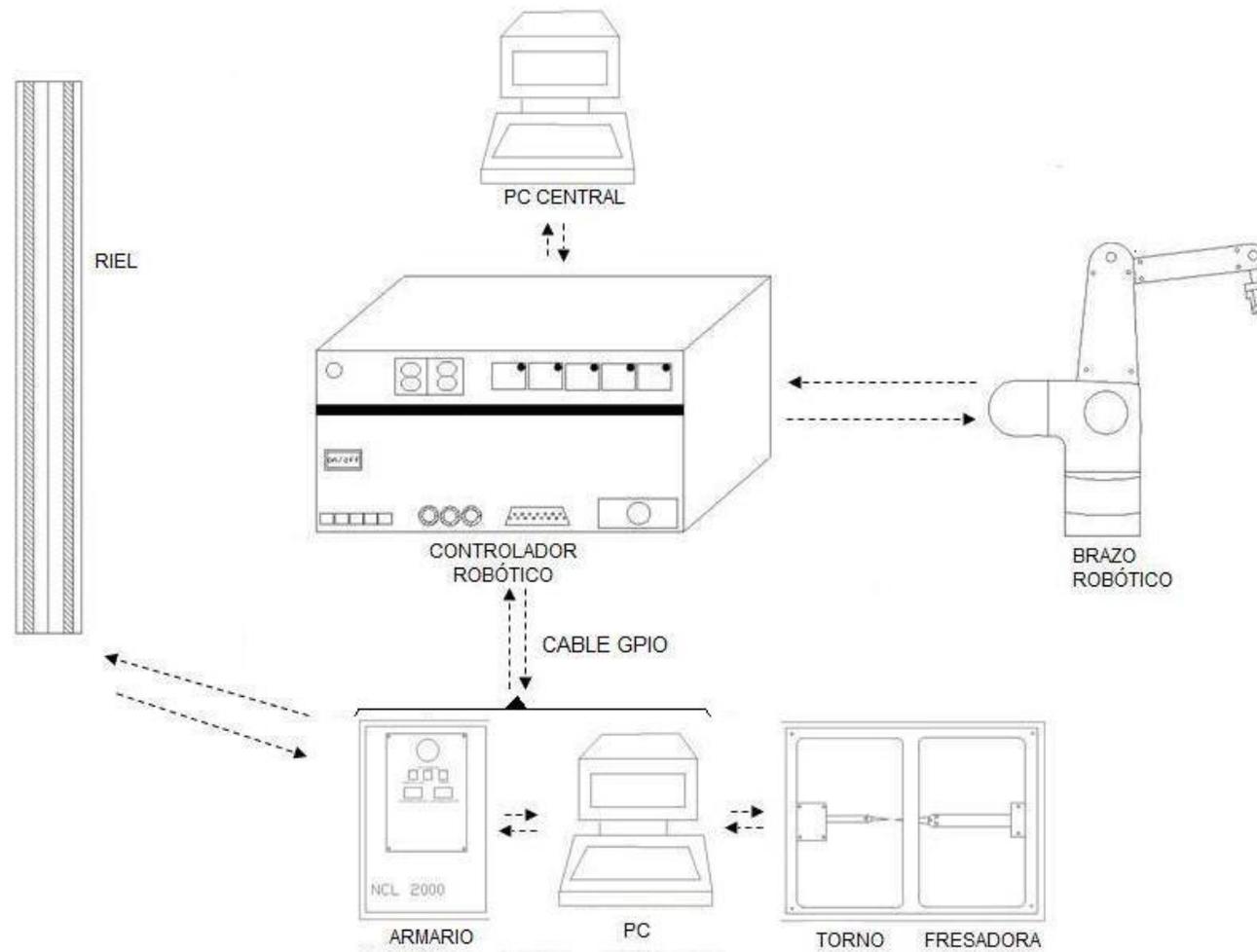


Figura. 3.1. Elementos parte de la Estación FMS 2101

Por ejemplo, los únicos elementos que tienen conexión directa con el controlador robótico son el brazo robótico principalmente, el micro controlador y el computador con el software ROBCOM. Los otros dispositivos como la fresa, el torno y el riel no se conectan directamente con el controlador del robot.

En toda la estructura de la estación, la comunicación que hace posible el desarrollo y desempeño de la misma, es la que pasa a través del cable GPIO ya que permite la transmisión de las señales que controlan los movimientos y acciones de los dispositivos.

3.2.2 Elementos de la estación FMS 2101. Los elementos que forman parte de esta estación y el detalle de los mismos se describe a continuación:

Para el transporte de la materia prima, el prisma y el cilindro que son las piezas a ser maquinadas, se cuenta con una banda transportadora sobre la cual se desplazan un vagón y un pallet llevando el material hasta la estación de maquinado para obtener el producto elaborado, tal como se puede apreciar en la figura 3.2. Estos elementos, son utilizados por todas las estaciones del laboratorio ya que utilizan el mismo medio de transporte de las piezas.

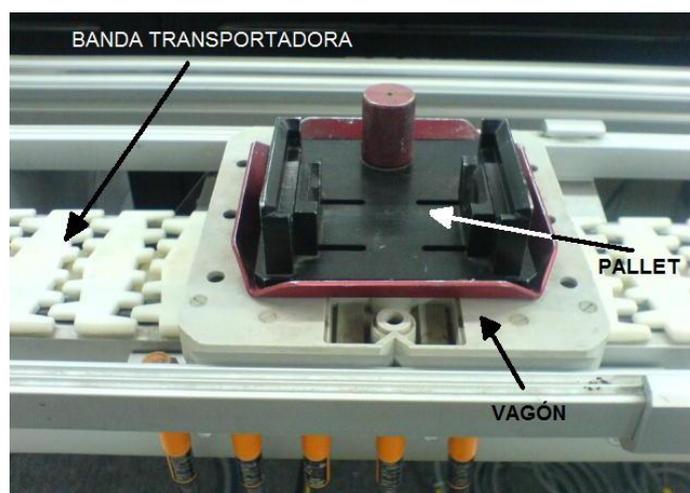


Figura. 3.2. Elementos para el transporte de las piezas

El pallet es el elemento sobre el cual se colocan el cilindro y el prisma que van a ser llevados hasta la estación tal como se muestra en la figura 3.3. Estas

piezas son posteriormente ingresadas a las máquinas de torneado y fresado respectivamente y así obtener el producto elaborado.



Figura. 3.3. Prisma y Cilindro colocados en el Pallet

La estación cuenta con un **brazo robótico CRS A255** que es un elemento muy funcional e importante, encargado de la ubicación de las piezas a ser elaboradas en las máquinas de trabajo de la FMS 2101, en la figura 3.4 se observa el mencionado robot, el cual tiene como función principal tomar las piezas desde los pallets y colocarlas en la máquina que corresponda según el trabajo a realizarse y espera a que termine el maquinado para posteriormente volver a colocar la pieza elaborada en el pallet vacío y continuar con su elaboración en las estaciones posteriores.

Este elemento es el que realiza todos los movimientos necesarios para la ubicación de la materia prima en su correspondiente unidad de maquinado.



Figura. 3.4

Figura. 3.4. Brazo Robótico CRS A255

El robot realiza el transporte y ubicación de las piezas de una manera precisa y exacta, sin embargo, no podría realizar los movimientos pertinentes sin contar con un elemento controlador que maneje sus acciones y le permita alcanzar los rangos deseados, por eso se cuenta con un **controlador C500C** que supervisa y ordena todos los movimientos y acciones del brazo robótico.

Gracias a la memoria del controlador robótico, se puede almacenar información y así cada posición del robot se graba en su memoria y son luego utilizadas en el programa secuencial que se realiza en el software ROBCOM para el funcionamiento del robot. La figura 3.5 muestra el controlador robótico que forma parte de la estación de maquinado.



Figura. 3.5. Controlador Robótico C500C

Conjuntamente con el brazo robótico se cuenta con un elemento que es indispensable para la correcta ubicación y posicionamiento de la materia prima en el torno o la fresa según corresponda, y posteriormente con el producto ya elaborado. Es **un riel** que permite un desplazamiento horizontal al robot, consiguiendo mayor alcance y movimiento para llegar a las posiciones necesitadas; este riel posee un micro controlador, que es el encargado de darle las señales para realizar los movimientos requeridos. El riel tiene dos modos de funcionamiento; en forma automática, haciendo uso del micro-plc y en forma manual haciendo uso del **teach box**, dispositivo que permite seleccionar el modo de funcionamiento, movimientos de desplazamiento de izquierda a derecha y viceversa, y lo más importante, es que admite guardar hasta 8 posiciones del riel proporcionadas por tres bits de ubicación en el micro-plc que es básicamente el controlador del riel. La figura 3.6 muestra el teach box de la estación FMS.



Figura. 3.6. Teach Box para el manejo del Riel

Para la elaboración del producto deseado, se cuenta con dos máquinas que se encargan de darle forma al prisma o al cilindro según sea el caso, esto indica que se tiene dos tipos de material, el prisma que es maquinado en la fresadora y el cilindro cuyo maquinado se lo realiza en el torno, cada una de las máquinas funciona de manera independiente y solo necesitan la señal de inicio para empezar la elaboración.

El fresado es uno de los procesos de corte más versátiles, y es indispensable para la manufactura de partes de simetría no rotacional. La

fresadora que se encuentra en la estación es una de tipo vertical, ya que tiene el eje de la fresa perpendicular a la superficie de la pieza de trabajo.



Figura. 3.7. Máquina Fresadora NCM 2000

La máquina **fresadora NCM 2000** que se puede apreciar en la figura 3.7, es la que se encarga del tratamiento del prisma, para esto internamente la máquina posee un eje vertical giratorio que carece de movimientos de desplazamiento, solo tiene movimiento circular sobre su propio eje. Además, tenemos un plano perpendicular debajo del eje giratorio, donde existen desplazamientos en el plano XZ; en este plano se encuentra el prisma que es quien se mueve en estos dos ejes para ir tomando la forma deseada de elaboración.

La máquina de **torneado NCL 2000** en cambio, es la que proporciona un movimiento rotatorio primario mientras a la herramienta se le imparten movimientos apropiados de avance. La pieza de trabajo debe sujetarse firmemente con frecuencia en un mandril, boquilla o plato. [11]

El torno que se muestra en la figura 3.8 es donde se realiza la elaboración o maquinado del cilindro; la diferencia con la fresadora es que el cilindro esta fijo y únicamente tendrá movimiento circular sobre su propio eje y quienes le dan forma son los movimientos de las herramientas de corte en los ejes X y Z del plano que se encuentra ubicado debajo del eje longitudinal del cilindro.



Figura. 3.8. Máquina Torno NCL 2000

Estas dos máquinas de fabricación cumplen con la tarea de obtener el producto final o producto terminado, dándoles las formas y acabados que se necesite sobre la materia prima; las formas y acabados del producto elaborado se los obtiene mediante un software instalado en un computador que forma parte de la estación de maquinado, generando programas y rutinas para los movimientos de desplazamiento y movimientos angulares.

Su funcionamiento y proceso de fabricación es realizado a partir de un sistema CAD/CAM, cuyo software se encuentra localizado en un computador de la misma estación, la cual contiene el programa LATHE que es el compilador del sistema CAD/CAM.

3.2.3 Funcionamiento de la Estación de Maquinado. Antes se había mencionado que el controlador robótico es quien actúa como controlador o cerebro principal de la estación, esto se entenderá de mejor manera ya que en esta parte se explica el funcionamiento de la estación, las señales utilizadas y cómo actúan cada una de las partes.

Cabe destacar que la estación no poseía en ningún momento un elemento central quien controle el flujo de señales y sea dedicado exclusivamente al manejo de todas ellas, como por ejemplo un controlador lógico programable, es decir un PLC. En tal virtud, era a través del controlador robótico por donde circulaban señales de un lugar a otro; y se realizaba de la siguiente manera:

Una vez que llega a la estación una petición de trabajo desde la estación central, la estación FMS 2101 espera la llegada del material, sea este un prisma o un cilindro; indicando con una señal la presencia de un vagón con materia prima, en este instante se establece un enlace de comunicación a través del puerto GPIO que no es otra cosa más que un puerto de entradas y salidas de propósito general conectado entre el controlador del robot y el armario donde se encuentra ubicado el micro-plc. Luego de recibir la señal, el controlador del robot envía a través del GPIO, 4 señales hacia el armario donde son receptadas por el micro-plc que se ve en la figura 3.9, el cual entiende que la una señal es la activación del riel y las otras tres restantes son bits de posición para el movimiento del mismo; al recibir estos datos el robot se mueve a lo largo del riel hasta alcanzar la posición frente al vagón que previamente fue guardada, así mismo una vez que se realiza el movimiento del riel, es decir llega a la posición indicada, se envía una señal desde el armario hacia el controlador C500C para indicarle que se ha terminado el movimiento del riel, entonces nuevamente el controlador envía otras 4 señales pero esta vez al brazo robótico para que este ejecute los movimientos necesarios y tome el material del vagón, se debe aclarar que todos los movimientos y posiciones del robot son previamente programados y guardados en el software ROBCOM, el cual permite realizar rutinas y comandos para los movimientos del brazo robótico.



Figura. 3.9. Micro-PLC controlador del Riel

Una vez que el material ha sido tomado, nuevamente el controlador envía las respectivas señales para que el riel tome la posición ya sea frente al torno o frente a la fresa según sea el material presente y con posteriores movimientos del robot se coloca el material dentro de la máquina sujetándolo para que el robot pueda salir de ella y esperar a que se termine el proceso de maquinado. Al estar el robot fuera de la máquina, la puerta de esta se cierra y se da inicio al proceso de elaboración de producto final, es decir la materia prima empieza a tomar forma gracias a los movimientos tanto del material como de los ejes internos de las máquinas.

Al concluir el proceso de elaboración, nuevamente se envía una señal para que el robot pueda ingresar a tomar la pieza y sacarla de la máquina, se desplaza a través del riel hasta llegar frente a la posición del vagón donde el controlador hace actuar al robot para que este coloque la pieza en el vagón y sea trasladada hacia las siguientes estaciones para continuar con la elaboración del producto terminado.

A través del puerto de comunicación GPIO se trasladan señales de activación, posición, aviso, alimentación y tierras. Como se había mencionado, se tiene para el riel 1 pin de activación, 3 pines de posición y un pin de terminada una acción, para el robot, de igual forma, 1 pin de activación, 3 pines de posición y un pin de terminada una rutina, pines de alimentación 24 voltios, pines de retorno y pines de tierra. La figura 3.10 indica una representación general del puerto GPIO.



Figura. 3.10. Conectores macho y hembra del puerto GPIO

Todas las señales para la comunicación entre el controlador robótico y el micro controlador del armario, son llevadas a través del puerto de entradas y salida de propósito general (GPIO) con conectores de 50 pines tanto en el armario como en el controlador robótico.

El puerto GPIO del controlador del robot, permite manejar señales externas que manejadas correctamente son asociadas a cualquier proceso que cumple el brazo robótico, las cuales son manipuladas para que el brazo robótico pueda seguir el proceso secuencial de trabajo que cumple en la estación FMS 2101.

El conector GPIO del controlador tiene 16 entradas y 16 salidas. Doce salidas del controlador son de baja corriente y aisladas óptimamente y cuatro salidas son contactos de relés de 3 amperios, cada uno con un contacto normalmente cerrado (NC) y un normalmente abierto (NO). En la figura 3.11 se puede apreciar la numeración de los pines del conector.

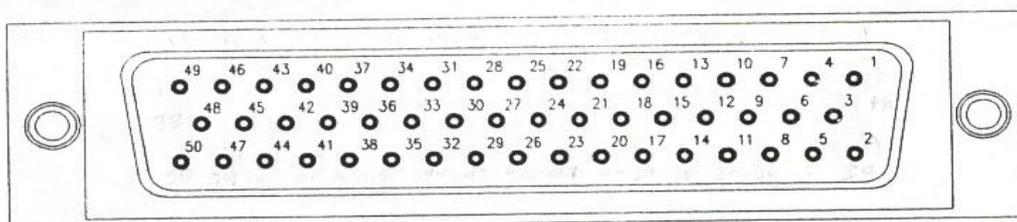


Figura. 3.11. Conector DD50 (GPIO)

Todos los relés conectados a las salidas del puerto ubicado en el controlador del robot están conectados a un punto común, el cual tiene un fusible en el panel frontal como medida de protección general.

CAPÍTULO 4

NUEVA PLATAFORMA DE LA ESTACIÓN FMS

4.1 INTRODUCCIÓN

Este capítulo menciona los cambios y acoplamientos que se ha realizado a la estación original con la finalidad de incluir la nueva plataforma, adicionando un elemento principal y de gran utilidad como es un controlador lógico programable de la familia Allen Bradley. Específicamente el Compact Lógix 5000.

La tecnología y la capacidad del hombre han permitido desarrollar métodos y dispositivos capaces de acoplar diferentes elementos con la finalidad de hacerlos funcionar de manera sincronizada y ordenada. Por esta razón se menciona el método de acoplamiento, los dispositivos acoplados y las herramientas utilizadas en este cambio de plataforma.

4.2 ESTRUCTURA DE LA ESTACIÓN CON EL NUEVO PLC

La estación de maquinado cuenta con un elemento principal que es el PLC Compact Lógix 5000 que realiza la función de cerebro principal de toda la estación y centraliza todas las señales del área de producción.

En la figura 4.1 se muestra un diagrama de bloques que representa la estructura y las conexiones de cada uno de los elementos que forman parte de esta área de trabajo.

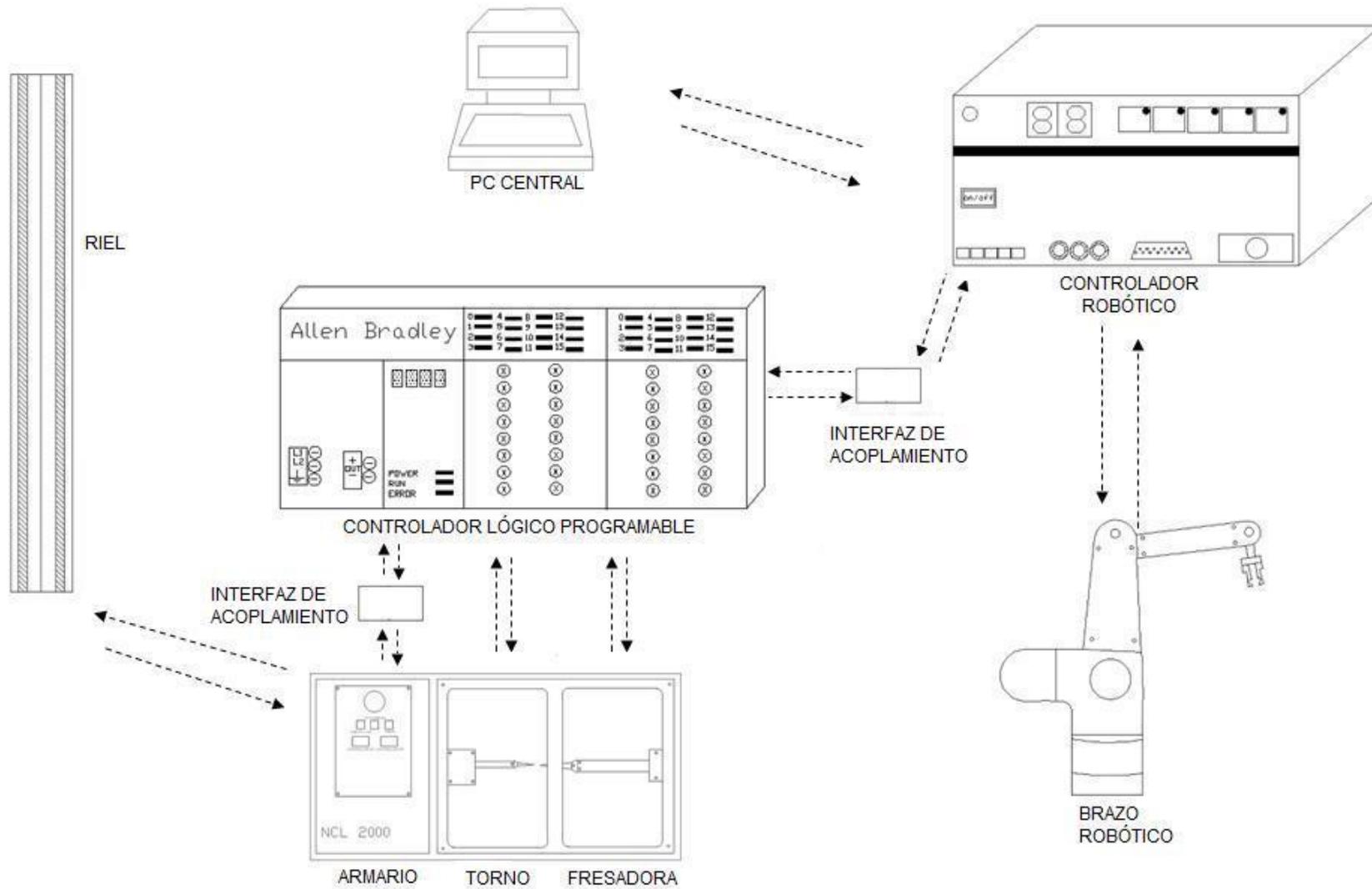


Figura. 4.1. Estructura y conexiones de los elementos de la estación FMS con la nueva plataforma

4.3 DESCRIPCIÓN FÍSICA DE LA ESTACIÓN FMS 2101

El cambio de plataforma no afecta de ninguna manera al aspecto físico del área de producción, ya que todos los elementos son necesarios e indispensables para un correcto funcionamiento y obtención del producto final, por lo tanto son nuevamente utilizados y adecuados para los fines requeridos.

Como ya se había indicado, el cambio de plataforma involucra adaptar los dispositivos y elementos del sistema original de maquinado a la nueva plataforma gobernada por un controlador programable que centralice el funcionamiento de la estación.

El funcionamiento centralizado implica la inclusión de un elemento centralizador que sea capaz de abarcar y manejar todas las señales que se tienen en la estación, por esta razón se incluye al proceso un controlador lógico programable de la familia de Allen Bradley que, por sus bondades y prestaciones es el dispositivo idóneo para los objetivos a realizarse en la estación de maquinado y el proceso de producción en general.

En la figura 4.2 se puede apreciar la localización de la estación de maquinado conjuntamente con las demás estaciones y la estación central del CIM 2000, además se puede tener una idea general del proceso de producción desde la entrega de la materia prima hasta el producto final ya elaborado.

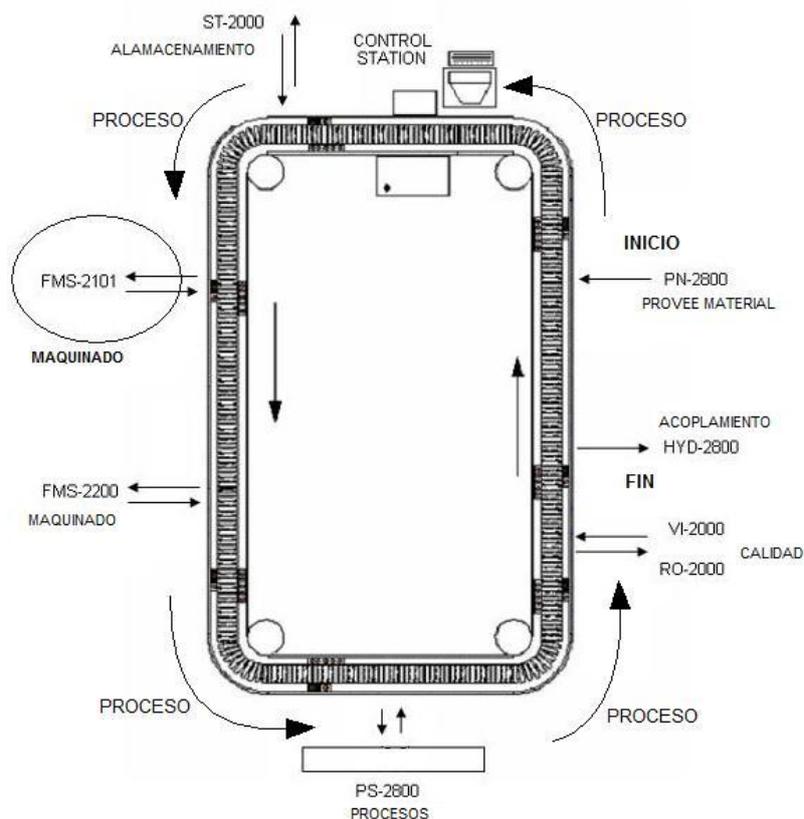


Figura. 4.2. Ubicación de la estación FMS 2101

En la estación FMS no solo es necesario incluir el PLC para el cambio de plataforma, sino que también es indispensable adecuar los dispositivos y elementos existentes para que puedan ser controlados por el nuevo elemento a incluir.

Con la inclusión de este controlador, se tiene un manejo de señales centralizada, todas las señales desde o hacia los dispositivos deben pasar por el PLC de la estación FMS 2101. Por otra parte, los elementos que forman parte del área de maquinado no sufrirán cambios físicos, ni tampoco cambios en ubicación ni localización ya que únicamente se agrega un dispositivo que es el PLC controlador de la estación.

El principio de funcionamiento es el mismo con el cual anteriormente se había venido trabajando, todos los elementos deben realizar las acciones pertinentes o las tareas que se les asignan para un correcto desempeño y funcionamiento del área de maquinado en general; dicho de otra forma, cada

dispositivo debe realizar una tarea específica para que otro pueda ejecutar la siguiente acción, no hay lugar a errores ya que todo el proceso de maquinado en sí, corresponde a una secuencia lógica de movimientos y acciones en un intervalo de tiempo y espacio determinado, que es controlado por el PLC Compact Logix 5000 incluido en la estación.

A continuación se describen los elementos que participan en el modelo de funcionamiento gobernados por el controlador Compact Logix, así como también los parámetros requeridos o manipulados.

4.3.1 PLC Allen Bradley Compact Logix 5000. Como elemento principal y cerebro de toda la estación está el controlador lógico programable, que como ya se había indicado, es un controlador de la familia Allen Bradley y específicamente el Compact Logix 5000 mostrado en la figura 4.3. Este elemento, permite controlar y accionar el resto de dispositivos con la tarea que cada uno debe cumplir y así lograr un correcto funcionamiento en tiempo, precisión y desempeño.



Figura. 4.3. PLC Compact Logix 5000 de Allen Bradley

Debido a que en la estación de maquinado FMS 2101 del CIM 2000, era necesario un cambio de plataforma y la inclusión de un dispositivo que dirija y controle las señales de la estación, se incluye un controlador que ofrece magníficas soluciones a nivel industrial gracias a sus bondades y características como cerebro principal de una red de dispositivos.

Entre otras características que hacen de los controladores de Allen Bradley altamente comerciales, se mencionan las principales:

- Alta capacidad de memoria.
- Menor tiempo de procesamiento de datos.
- Tasas de transmisión de información pequeñas.
- Programación del controlador bastante amigable.
- Variedad en modos de programación.
- Operaciones lógicas a altas velocidades.
- Comunicación Ethernet, DeviceNet y ControlNet
- Su memoria combina lógica, información y direccionamiento de bases de datos.
- Fácil manejo de señales entrada y salida.
- Aplicaciones a pequeña, mediana y gran escala.
- Manejo de varias señales en un menor tiempo.

Este controlador está formado por los siguientes módulos: módulo de alimentación, módulo de comunicación y módulos de entradas y salidas de señales.

4.3.1.1 La fuente de alimentación. El controlador opera tanto con voltaje alterno como con voltaje continuo, para mayor seguridad y prevenir daños a este elemento se deben respetar los rangos que el fabricante recomienda. El módulo de alimentación permite operar en los siguientes rangos de voltaje:

- entre 85 VAC hasta 265 VAC y
- entre 108 VDC hasta 135 VDC.

El módulo de alimentación se muestra en la figura 4.4. En las salidas del módulo se entrega voltajes de 24VDC y 5VDC, de los cuales, las salidas de 24 voltios son utilizadas por los módulos de I/O de señales y las salidas de 5 voltios son usadas para alimentar a los módulos que se conectan al Backplane del controlador.



Figura. 4.4. Módulo de alimentación del controlador

Además el módulo de alimentación solo puede entregar 24 voltios hasta a 8 módulos de entrada y salida, y a partir de este número no es posible obtener señales de salida debido a la capacidad que presenta el módulo de alimentación.

Al igual que con los voltajes, las corrientes también tienen restricciones, y los valores que puede soportar la fuente de alimentación del controlador son los siguientes:

- 3.5 Amperios a 24 Voltios en backplane y
- 0.25 Amperios a 24 Voltios externamente

Internamente la fuente de alimentación posee un fusible como medio de protección que no se lo puede reemplazar ya que se encuentra soldado, y es la seguridad de la fuente por eventuales anomalías de corriente o voltaje.

4.3.1.2 El controlador del PLC. Uno de los módulos del cual se encuentra conformado el PLC es el controlador interno mostrado en la figura 4.5, como su nombre lo indica es el que va a tomar las señales, procesarlas y enviarlas por donde se requiera, e internamente el controlador está conformado por el módulo de alimentación, módulo de comunicación, CPU, módulos de entrada salida digitales y una unidad de alta impedancia. Además el controlador posee una memoria que está separada en dos secciones independientes.



Figura. 4.5. Módulo controlador del PLC

La una sección de memoria que es la CPU de backplane que se encarga de procesar las señales de entrada y salida, al igual que recibir y enviar datos hacia el backplane, que es el bus de datos en el cual todos los módulos se conectan, es decir, es la red interna del controlador desde la cual se transmiten las señales de los módulos hacia el procesador del controlador. En cambio, la otra sección es la CPU Logix que se encarga de realizar la ejecución de los códigos de aplicación y mensajes.

En lo que respecta a la **programación del controlador** se había mencionado que es bastante amigable, comprensible y fácil de realizar, tomando

en cuenta las bondades del controlador se puede generar rutinas para satisfacer las necesidades y aplicaciones en los campos requeridos.

Una forma de programar en este tipo de PLC es la conocida **programación en escalera** donde se hace uso de instrucciones booleanas con instrucciones básicas de operaciones matemáticas, además contamos con temporizadores y contadores los cuales permiten manejo de tiempos e intervalos entre otras altas prestaciones a mayor nivel según las aplicaciones, todo esto en el software RSLogix 5000.

Este método de programación se la realiza sobre peldaños o rungs los cuales pueden ser ilimitados. Una de las bondades del PLC como tal, es que durante la programación se puede forzar el estado de las instrucciones con la finalidad de simular el accionamiento de las señales e ir verificando el funcionamiento de cada secuencia programada.

4.3.1.3 Módulos entradas y salidas digitales. El controlador Compact Logix 5000 soporta el manejo de hasta un total de 16 módulos de entrada salida. Si es necesario añadir más módulos, éstos deben ir sobre bancos I/O adicionales, pero cada uno de estos bancos deben tener su propia fuente ya que anteriormente se había indicado las limitaciones del módulo de alimentación. La figura 4.6 muestra los módulos de entradas y salidas del controlador Compact Logix.



Figura. 4.6. Módulos de entradas y salidas del PLC

4.3.2 Elementos de maquinado. Como se puede apreciar en la figura 4.7, la estación cuenta con dos módulos de elaboración o maquinado, una de ellas es la *máquina de torneado NCL-2000* y la otra es la *Máquina Fresadora NCM-2000* donde se ingresan las piezas de elaboración tales como el cilindro y el prisma respectivamente, a diferencia del sistema original estas máquinas ya no elaboran piezas talladas, debido a un desperfecto que impide la comunicación entre el software y las máquinas mencionadas. El funcionamiento que poseen con la nueva plataforma es un tipo de simulación aunque sus activaciones si son utilizadas y accionadas desde el PLC.



Figura. 4.7. Elementos de maquinado (fresadora y torno)

4.3.3 Transporte de la materia prima. La estación cuenta con un elemento muy funcional e importante como es el brazo robótico CRS A255 mostrado en la figura 4.8, este elemento realiza gran parte del transporte de las piezas a ser elaboradas hacia las máquinas de trabajo de la FMS 2101, este se encarga de tomar las piezas desde los vagones y colocarlas en la máquina que corresponda según el trabajo a realizarse y espera a que termine el maquinado para posteriormente volver a colocar la pieza elaborada en el vagón de transporte. Gracias a la memoria del controlador robótico, se puede almacenar información y así, cada posición del robot se graba en su memoria para que estas puedan ser utilizadas en el programa secuencial que se realiza en el software ROBCOM para el funcionamiento del robot.



Figura. 4.8. Brazo Robótico CRS A255

Otro elemento importante en el aspecto de transporte de las piezas es el **riel de movimiento Rose Krieger** que se puede apreciar en la figura 4.9 y sirve como complemento para el trabajo del robot, ya que contribuye al desplazamiento longitudinal del mismo entre las dos máquinas de trabajo, la fresadora y el torno, casi en forma similar que con el robot, en este riel se definen posiciones que son guardadas en el micro-plc del armario, previamente se graban para luego ser utilizadas en rutinas que son programadas dentro del PLC principal para cumplir con los procesos de fabricación de las piezas.



Figura. 4.9. Riel Rose Krieger

4.4 SEÑALES DE ENTRADAS Y SALIDAS DEL PLC

Todas las señales de entrada y salida del controlador, deben primero pasar por un circuito externo llamado convertidor de señales cuyo fin y funcionamiento será explicado posteriormente.

Únicamente las señales del torno y la fresa no pasan por el convertidor de señales, en cambio, todas las demás señales deben pasar por el circuito indicado. Cabe señalar que se tiene mayor número de salidas del PLC que entradas, y esto se debe a que la estación está formada por elementos de ejecución por lo cual estos elementos necesitan señales que les indiquen en qué momento deben actuar o ejecutar una orden, en cambio el PLC no requiere mayor información de lo que está sucediendo en el área de maquinado, solamente debe saber si el robot o el riel ya terminó de realizar una acción. Esta es la razón por la cual se tienen 15 señales de salida que se muestran en la figura 4.10 y tan solo 4 señales de entrada mostradas en la figura 4.11.

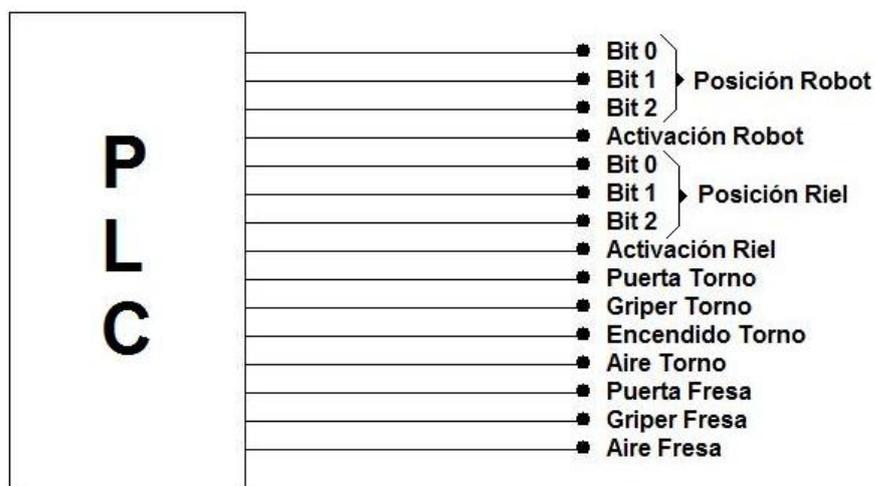


Figura. 4.10. Señales de Salida del PLC

Se pueden observar las salidas que van desde el PLC hacia el armario que controla los movimientos del riel; hacia el controlador del robot que manipula los movimientos robóticos, hacia el torno y la fresadora que ejecutan la simulación de maquinado de la materia prima. Las señales de salida que se observan en la figura 4.10, son destinadas de la siguiente manera; el controlador del robot recibe

4 señales, la una es la activación del robot y tres señales más de posición; de igual manera, el riel recibe un bit de activación y tres bits de posición. El resto de señales mostradas se reparten entre el torno y la fresadora ya que son utilizados para activaciones de las puertas, los gripers y el paso de aire para limpieza durante el maquinado.

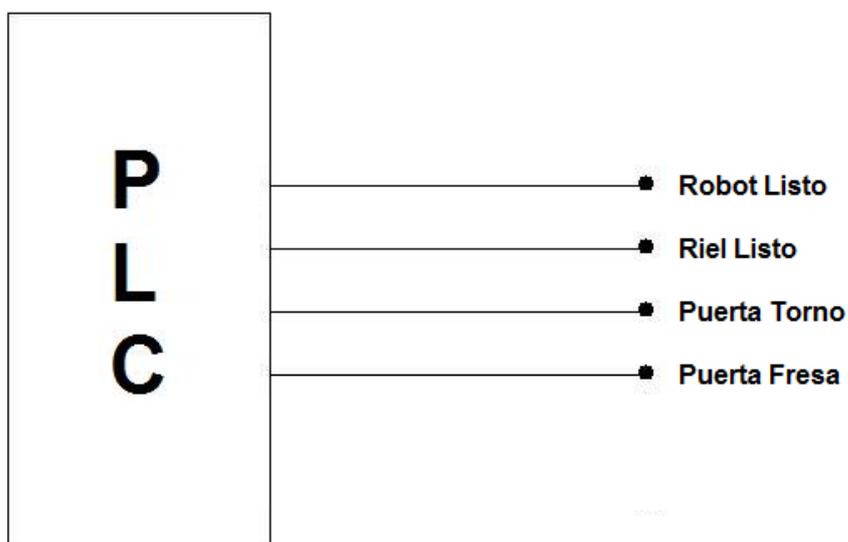


Figura. 4.11. Señales de Entrada al PLC

El PLC necesita 4 señales de entrada, las mismas que indican si una acción ya fue ejecutada y se puede realizar otra o no, así como también otras señales indican si existen las condiciones requeridas para que una acción pueda ser ejecutada como en el caso de las señales de las puertas, las cuales se encuentran condicionadas para que se pueda realizar el ingreso del robot a las máquinas de elaboración.

Como se había indicado todo el proceso de maquinado se encuentra programado con secuencias lógicas que involucran movimientos y participaciones de todos los elementos de la estación en un momento determinado, por lo cual, las señales de “listo” que se pueden apreciar en la figura 4.11, son estrictamente necesarias ya que de este modo el PLC puede saber si se terminó de realizar un movimiento o una acción y ordenar la ejecución de otro movimiento. Estas señales se indican desde el controlador del robot y desde el micro-plc que controla los movimientos del riel.

Las otras dos señales de entrada tienen que ver con las puertas del torno y la fresadora, ya que deben estar abiertas para que el brazo robótico pueda ingresar y realizar una acción, esta restricción permite una mejora en el proceso ya que no da lugar a errores cuando por alguna razón no se abrió la puerta y así evitar una colisión del robot al tratar de ingresar hacia la máquina. Fue necesaria la inclusión de un fin de carrera en cada puerta y así obtener la señal o el permiso para que el robot pueda ingresar en las máquinas.

4.4.1 Descripción física de las entradas y salidas del puerto

GPIO. Hasta ahora solo se han conocido los conectores DB50 en forma general, en esta ocasión se describe en forma particular la conexión interna del conector GPIO del controlador robótico para tener un mejor conocimiento de la circuitería dentro del controlador y la manera como trabajan estos pines ya que esta es la pauta que sirvió para conocer que el controlador trabaja en lógica inversa.

En la figura 4.12 se muestran físicamente las entradas, salidas y la conexión interna de este puerto en el controlador robótico C500C.

C500 GENERAL PURPOSE I/O CONNECTOR DESCRIPTION

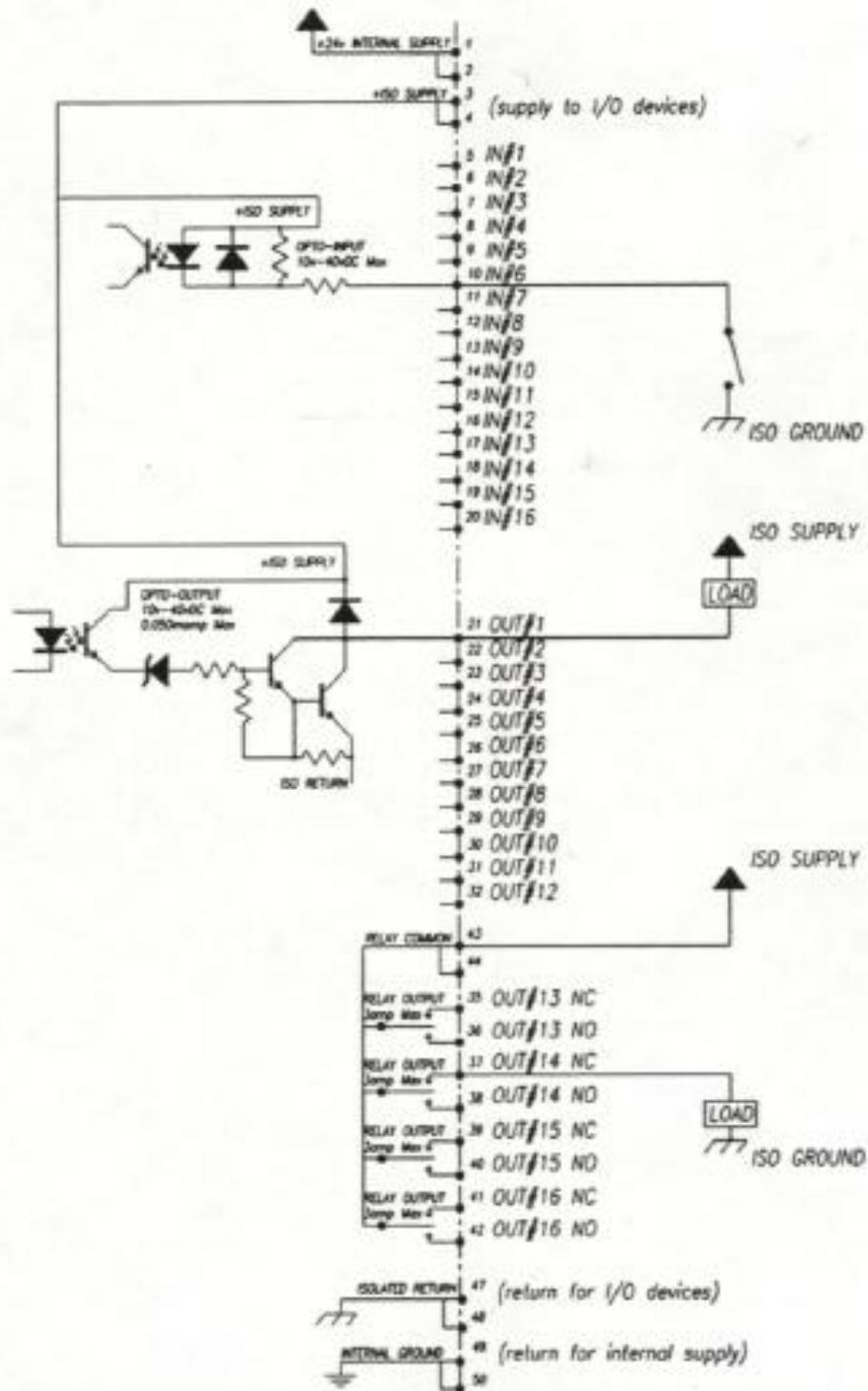


Figura. 4.12. Descripción física de las señales del puerto GPIO del controlador robótico C500C

4.5 CONVERTIDOR DE SEÑALES.

El funcionamiento en lógica inversa de los elementos comunicados a través del puerto GPIO, es decir el controlador robótico y el micro controlador del armario, obligó a incluir un circuito externo adicional para las señales antes y después del PLC Compact Logix 5000; esto se debe a que existiría un conflicto de lógicas ya que a diferencia de los anteriores, el PLC trabaja en lógica contraria a los otros dispositivos en cuestión. Es por esta razón que se diseñó un cambio de lógica o conversor de señales basado en opto acopladores y transistores, para así acoplar las señales de los tres elementos. Como se puede apreciar en la figura 4.13, el circuito implementado consta de elementos electrónicos como resistencias, opto acopladores, leds y borneras.

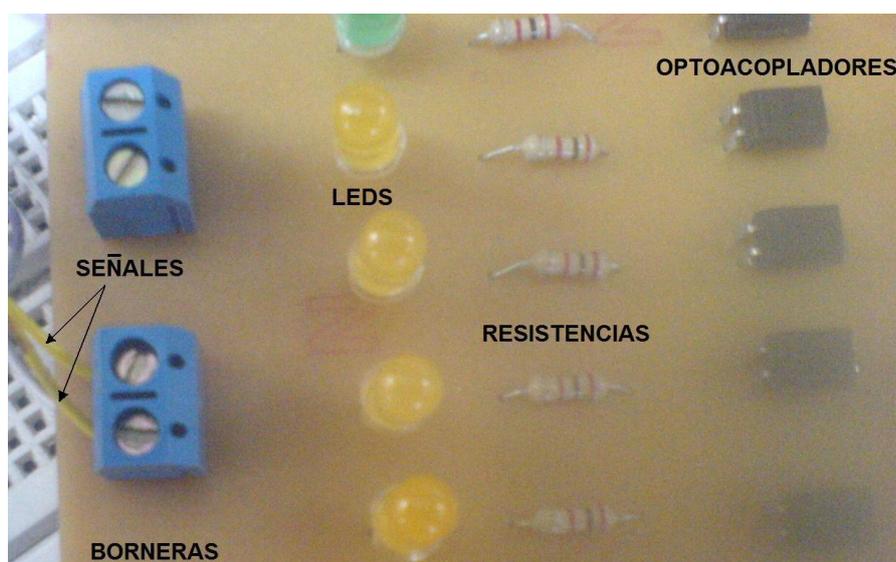


Figura. 4.13. Elementos del convertidor de señales

En lo referente al uso de opto acopladores, se debe mencionar que se eligió utilizar este elemento electrónico ya que su funcionamiento se basa en el paso de corriente por luz y de esta manera se protege los dispositivos.

La figura 4.14 muestra un optoacoplador formado por un LED y un fototransistor. Su funcionamiento se realiza de la siguiente forma, la tensión de la fuente de la izquierda y la resistencia en serie establecen una corriente en el LED emisor cuando se cierra el interruptor S1. Si dicha corriente proporciona un nivel

de luz adecuado, al incidir sobre el fototransistor lo saturará, generando una corriente en R2. De este modo la tensión de salida será igual a cero con S1 cerrado y a V2 con S1 abierto.

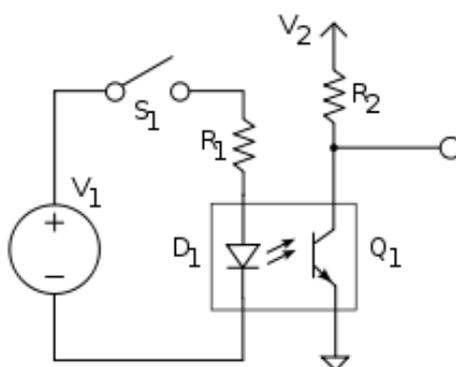


Figura. 4.14. Circuito interno del Optoacoplador

Si la tensión de entrada varía, la cantidad de luz también lo hará, lo que significa que la tensión de salida cambia de acuerdo con la tensión de entrada. De este modo el dispositivo puede acoplar una señal de entrada con el circuito de salida.

La ventaja fundamental de un optoacoplador es el **aislamiento eléctrico** entre los circuitos de entrada y salida. Mediante el optoacoplador, el único contacto entre ambos circuitos es un haz de luz. [15]

Internamente el circuito acoplador de señales implementado dispone de puntos de emergencia, es decir existen borneras que no han sido utilizadas con la finalidad de utilizarlas cuando uno de los principales haya tenido un daño o desperfecto y no esté funcionando de manera adecuada.

Como elemento necesario, se implementó un circuito externo al que en capítulos anteriores se le había descrito y denominado como inversor de señales, el circuito implementado se puede apreciar en el anexo 1.

En las figuras 4.15 y 4.16 se muestran los circuitos eléctricos implementados para el inversor de señales.

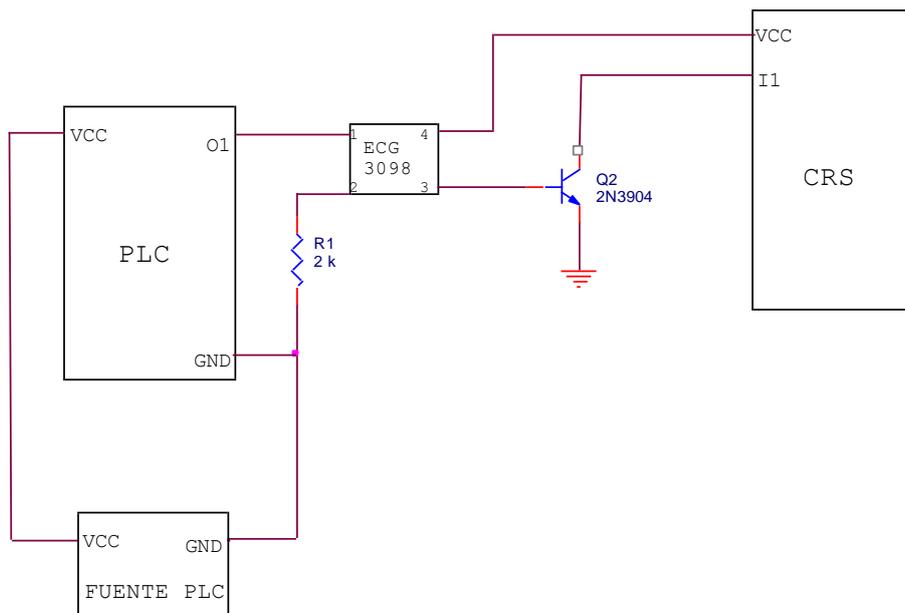


Figura. 4.15. Circuito para las salidas del PLC

Además se debe mencionar que la figura 4.15 muestra la conexión física de las señales que salen del PLC hacia los dispositivos que reciben órdenes del mismo, es decir, hacia el controlador robótico y al micro-plc que controla el riel. Dicho de otra forma, este es el circuito que permite cambiar el nivel de voltaje de la activación de 24V a 0V.

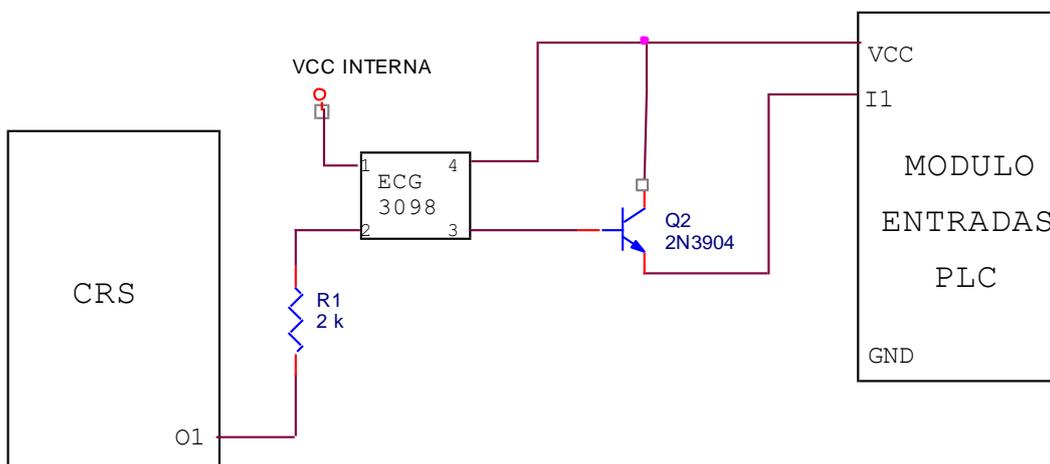


Figura. 4.16. Circuito para las entradas al PLC

De forma idéntica se observa que en la figura 4.16, aparece un circuito acoplador que muestra la conexión física de las señales de entradas al PLC desde el controlador robótico y desde el riel. Este circuito a diferencia del anterior, permite cambiar el nivel de voltaje de la activación de 0V a 24V.

Los circuitos eléctricos anteriores, son circuitos de una sola señal cada una, por lo cual, el circuito completo implementado para el inversor de señales consta de varios circuitos de los indicados anteriormente, específicamente contamos con 8 señales de salidas del PLC y 2 señales de entradas al PLC, además de 4 señales auxiliares para repuestos, todas pasan por el inversor de señales.

Tal como se puede observar en la figura 4.17 existen puntos auxiliares que pueden ser utilizados en cualquier momento, los cuales fueron provisionados para sustituir puntos dañados o de mal funcionamiento.



Figura. 4.17. Convertidor de señales, bits utilizados y bits auxiliares

Todas las señales que entran y salen del convertidor de señales, son enviadas a través de un conector paralelo de 25 pines, el cual facilita la conexión de este dispositivo que recibe y envía señales del PLC Compact Logix 5000 de la estación de maquinado.

4.6 POSICIONES Y PINES

4.6.1 Posiciones del brazo robótico

La tabla 4.1 muestra las 4 señales de salida del PLC hacia el controlador robótico, donde OR3 es el bit de activación del robot, OR2, OR1 y OR0 son los bits de posiciones robóticos y además se puede apreciar que R0, R1, R2, R3, R4, R5, R6 y R7 son las posibles combinaciones de los bits y cada una permite que el robot ejecute una secuencia dependiendo de la combinación enviada.

IDENTIFICADOR	EJECUCIÓN	CÓDIGO			SECUENCIA	DESCRIPCIÓN
		OR3	OR2	OR1		
R0	1	0	0	0	Secuencia inicial	Robot en una posición inicial
R1	1	0	0	1	Secuencia 1	Coger cilindro
R2	1	0	1	0	Secuencia 2	Dejar cilindro en maquina torno
R3	1	0	1	1	Secuencia 3	Recoger cilindro y regresarlo al vagón
R4	1	1	0	0	Secuencia 4	Coger prisma
R5	1	1	0	1	Secuencia 5	Dejar prisma en maquina fresadora
R6	1	1	1	0	Secuencia 6	Recoger prisma
R7	1	1	1	1	Secuencia 7	Regresar prisma al vagón

Tabla. 4.1. Codificación de las señales de salida para los Movimientos del Robot

Como se puede observar en la tabla 4.2 tan solo existe una señal de entrada al PLC desde el controlador robótico que es IR0 que se activa siempre que el robot ha terminado de ejecutar una secuencia, la activación de esta señal se la realiza mediante el comando OUTPUT en el ROBCOM.

IDENTIFICADOR	DESCRIPCIÓN
IR0	AVISO QUE HA REALIZADO UNA ACCION

Tabla. 4.2. Señal de entrada al PLC desde el controlador del Robot

4.6.2 Posiciones del riel

En la tabla 4.3 se muestra las 4 señales de salida del PLC hacia el micro PLC, donde OL3 es el bit de activación del robot, OL2, OL1 y OL0 son los bits de posiciones del Riel y además se puede apreciar que L0, L1, L2, L3, L4, L5, L6 y L7 son las posibles combinaciones de los bits y cada una permite que el Riel se ubique en una determinada posición dependiendo de la combinación enviada.

IDENTIFICADOR	EJECUCIÓN	CÓDIGO			UBICACIÓN	DESCRIPCIÓN
		OL3	OL2	OL1		
L0	1	0	0	0	POSICIÓN 0	POSICIÓN INICIAL
L1	1	0	0	1	POSICIÓN 1	FRENTE AL VAGÓN
L2	1	0	1	0	POSICIÓN 2	FRENTE AL TORNO
L3	1	0	1	1	POSICIÓN 3	POSICIÓN DE SUJECCIÓN TORNO
L4	1	1	0	0	POSICIÓN 4	FRENTE A LA FRESADORA
L5	1	1	0	1	POSICIÓN 5	-----
L6	1	1	1	0	POSICIÓN 6	-----
L7	1	1	1	1	POSICIÓN 7	-----

Tabla. 4.3. Codificación de las señales de salida para la ubicación del Riel

En la tabla 4.4 tan solo se ve una señal de entrada al PLC desde el micro PLC que es IL0 y se activa siempre que el robot ha llegado a una posición en el riel.

IDENTIFICADOR	DESCRIPCIÓN
IL0	AVISO QUE LLEGA A LA POSICION

Tabla. 4.4. Señal de entrada al PLC desde el micro PLC

4.6.3 Torno

Las señales que se utilizan en el torno se muestran en la tabla 4.5, como se puede apreciar hay 4 señales de salida desde el PLC hacia el torno y una señal de entrada al PLC que es la indicación si la puerta está abierta o cerrada.

IDENTIFICADOR	BIT	DESCRIPCION
T1	OT0	PUERTA
T2	OT1	GRIPER DEL TORNO
T3	OT2	AIRE DE LIMPIEZA DE LA PIEZA
T4	OT3	FUNCIONAMIENTO TORNO
T5	IT1	PUERTA DEL TORNO ABIERTA

Tabla. 4.5. Señales de Entrada y Salida del Torno

4.6.4 Fresadora

Las señales que se utilizan en la fresadora se muestran en la tabla 4.6, como se puede apreciar hay 3 señales de salida desde el PLC hacia la fresadora y una señal de entrada al PLC que es la indicación si la puerta está abierta o cerrada.

IDENTIFICADOR	BIT	DESCRIPCION
F1	OF0	PUERTA
F2	OF1	GRIPER DE LA FRESADORA
F3	OF2	AIRE DE LIMPIEZA DE LA PIEZA
F5	IF1	PUERTA DEL TORNO ABIERTA

Tabla. 4.6. Codificación de Entrada/Salida de las acciones de la Fresadora

4.7 SEÑALES DE ENTRADAS Y SALIDAS DEL PLC

La tabla 4.7 muestra las señales de entrada al PLC y sus características físicas y lógicas.

TIPO SEÑAL	TAG DE SEÑAL	DIRECCIÓN FÍSICA	DIRECCIÓN LÓGICA	DESCRIPCIÓN
Entrada	SIG_RL	0	Local:3:I.Data.0	Señal de aviso del Riel
Entrada	SIG_RB	1	Local:3:I.Data.1	Señal de aviso del Robot
Entrada	PUERTA_T	5	Local:3:I.Data.5	Aviso Puerta Torno abierta
Entrada	PUERTA_F	6	Local:3:I.Data.6	Aviso Puerta Fresadora abierta

Tabla. 4.7. Señales de entradas al PLC

La tabla 4.8 muestra las señales de salida del PLC, el TAG de cada una de las señales, la ubicación de las señales en el slot del controlador y las direcciones lógicas de las señales que se utilizan en la programación del PLC.

TIPO SEÑAL	TAG DE SEÑAL	DIRECCION FÍSICA	DIRECCIÓN LÓGICA	DESCRIPCIÓN
Salida	PLC.0	0	Local:1:O.Data.0	Activación Bit 0 posición Riel
Salida	PLC.1	1	Local:1:O.Data.1	Activación Bit 1 posición Riel
Salida	PLC.2	2	Local:1:O.Data.2	Activación Bit 2 posición Riel
Salida	PLC.3	3	Local:1:O.Data.3	Activación Riel
Salida	PLC.4	4	Local:1:O.Data.4	Activación Bit 0 posición Robot
Salida	PLC.5	5	Local:1:O.Data.5	Activación Bit 0 posición Robot
Salida	PLC.6	6	Local:1:O.Data.6	Activación Bit 0 posición Robot
Salida	PLC.7	7	Local:1:O.Data.7	Activación Robot
Salida	PLC.8	8	Local:1:O.Data.8	Activación Puerta Torno
Salida	PLC.9	9	Local:1:O.Data.9	Activación Gripper Torno
Salida	PLC.10	10	Local:1:O.Data.10	Activación Aire Torno
Salida	PLC.11	11	Local:1:O.Data.11	Activación Motor torno
Salida	PLC.12	12	Local:1:O.Data.12	No Utilizado
Salida	PLC.13	13	Local:1:O.Data.13	Activación Puerta Fresadora
Salida	PLC.14	14	Local:1:O.Data.14	Activación Gripper Fresadora
Salida	PLC.15	15	Local:1:O.Data.15	Activación Aire Fresadora

Tabla. 4.8. Señales de salidas del PLC

4.8 IDENTIFICACIÓN DE SEÑALES DE LA INTERFAZ DE ACOPLAMIENTO

La tabla 4.9 muestra el conexionado de la interfaz de acoplamiento con el PLC, armario y el controlador del robot. Las señales identificadas en la interfaz de acoplamiento (desde J1 hasta J17) hacia donde se las conecta físicamente y la función que cumplen en el programa.

IDENTIFICADOR	CONEXION	DESCRIPCION
J1 (1)	PLC	BIT 0 Posición del Riel
J1 (2)	PLC	BIT 1 Posición del Riel
J2 (1)	ARMARIO	BIT 0 Posición del Riel
J2 (2)	ARMARIO	BIT 1 Posición del Riel
J3 (1)	PLC	BIT 2 Posición del Riel
J3 (2)	PLC	BIT de Activación del Riel
J4 (1)	ARMARIO	BIT 2 Posición del Riel
J4 (2)	ARMARIO	BIT de Activación del Riel
J5 (1)	PLC	BIT Auxiliar Posición del Riel
J5 (2)	PLC	BIT Auxiliar de Posición Lista del Riel
J6 (1)	ARMARIO	BIT Auxiliar Posición del Riel
J6 (2)	ARMARIO	BIT Auxiliar de Posición Lista del Riel
J7 (1)	PLC	BIT 2 Posición del Robot
J7 (2)	PLC	BIT de Activación del Robot
J8 (1)	ROBOT	BIT 2 Posición del Robot
J8 (2)	ROBOT	BIT de Activación del Robot
J9 (1)	PLC	BIT 0 Posición del Robot
J9 (2)	PLC	BIT 1 Posición del Robot
J10 (1)	ROBOT	BIT 0 Posición del Robot
J10 (2)	ROBOT	BIT 1 Posición del Robot
J11 (1)	PLC	BIT Auxiliar de Posición del Robot
J11 (2)	PLC	BIT Auxiliar de Posición Lista del Robot
J12 (1)	ROBOT	BIT Auxiliar de Posición del Robot
J12 (2)	ROBOT	BIT Auxiliar de Posición Lista del Robot
J13 (1)	PLC	BIT de Posición Lista del Riel
J13 (2)	PLC	BIT de Posición Lista del Robot
J14 (1)	RIEL	BIT de Posición Lista del Riel
J14 (2)	ROBOT	BIT de Posición Lista del Robot
J15 (1)	ROBOT	Fuente del Robot y el Armario de 24 [V]
J15 (2)	PLC	Fuente del PLC de 24 [V]
J16 (1)	ARMARIO	Contacto a tierra del Armario
J16 (2)	PLC	Contacto a Tierra del PLC
J17 (1)	ROBOT	Contacto a Tierra del Robot

Tabla. 4.9. Conexiones de la interfaz de acoplamiento con los elementos de la Estación

CAPÍTULO 5

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

5.1 INTRODUCCIÓN

Este capítulo muestra la nueva plataforma con el PLC CompacLogix 5000 con una aplicación en la estación FMS, que integra los elementos: robot, riel y cada máquinas CNC torno y fresadora. Con el uso del software RSLogix 5000, Factory Talk View, y Robcom.

Diagramas de conectividad y flujo que permiten un análisis previo a la implementación y puesta en marcha de la estación FMS.

5.2 FUNDAMENTOS DE DISEÑO

Los elementos de la estación FMS 2101 se conectan para interactuar entre ellos y hacer posible el transporte y maquinado de las piezas, funcionamiento que se detalla en los capítulos 3 y 4 de este documento.

La primera concepción que se debe tener, es la forma como están conectados los dispositivos, por lo que se realiza un diagrama de conexión de los mismos.

Los trabajos que se realizan con la fresadora o el torno sobre la materia prima tienen una secuencia lógica, que compone el transporte y maquinado de las piezas. Para una mejor comprensión de las secuencias lógicas se realiza los diagramas de flujo posteriormente desarrollados en este capítulo.

5.3 DIAGRAMA DE CONEXIONES DE LOS DISPOSITIVOS

En la figura 5.1 se tiene una representación gráfica de la forma como están relacionados los diferentes elementos, los movimientos y las posiciones del robot, riel y los elementos de sensamiento. De tal manera que se pueda ver la organización de todo el proceso.

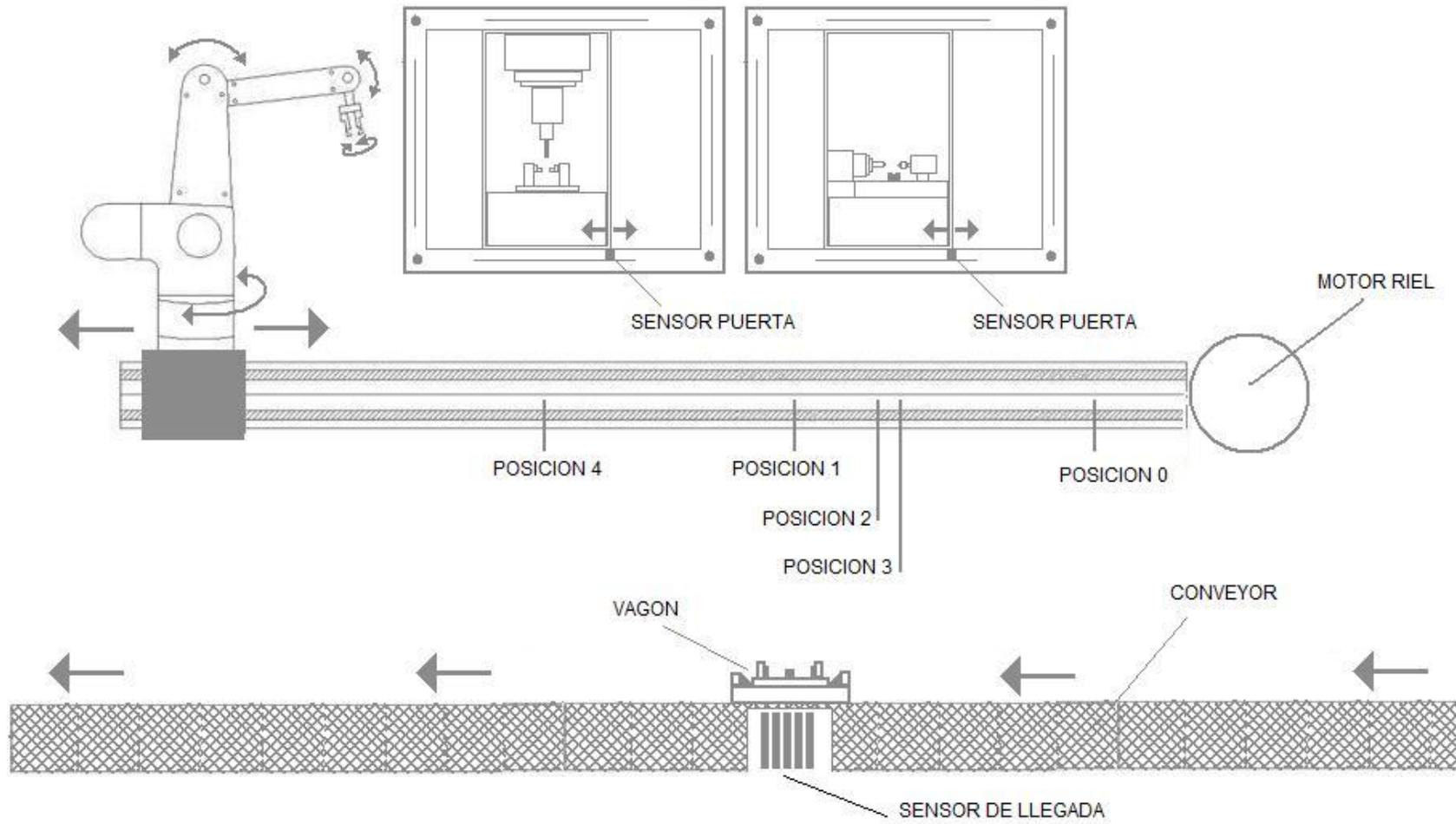


Figura. 5.1. Movimientos y posiciones de los elementos de la estación FMS

5.4 DIAGRAMAS DE FLUJO

Los diagramas de flujo muestran la secuencia con la que trabaja la estación. Para realizar el control y automatización en la estación FMS, es necesario que al término de cada una de las secuencias ya sea esta del robot o el riel exista un bit que se accione para dar a conocer que la secuencia ha terminado es con ello que se determina las diferentes posiciones.

5.4.1 Descripción del diagrama general de flujo. En la figura 5.4 se muestra el diagrama de flujo general del funcionamiento de la estación cuya descripción es la siguiente. El robot parte de una posición inicial en la posición de carga o descarga del vagón para la estación FMS, a esta posición se la denomina posición inicial.

Al recibir la señal que un vagón ha llegado, puesta en el diagrama como LLEGO VAGON, la pieza es tomada del vagón y llevada a maquinar hacia el torno o fresadora dependiendo si es cilindro o prisma respectivamente con la ayuda del movimiento del robot y el desplazamiento del riel.

Al terminar el maquinado de la pieza expresado en el diagrama como FIN MAQ, el robot con ayuda del riel saca la pieza de la máquina y la coloca sobre un vagón vacío, terminada así la secuencia, expresada en el diagrama como FIN SECUE.

5.4.2 Descripción del diagrama de flujo del Cilindro. El diagrama de flujo que se puede apreciar en la figura 5.5 muestra la secuencia de programación para el maquinado del cilindro en el torno. El diagrama de flujo indica que el robot parte de una posición inicial en la posición de carga o descarga del vagón para la estación FMS.

Una vez que se recibe la señal que un vagón ha llegado puesta en el diagrama como *llego cilind*, el robot coge el cilindro mediante una secuencia programada en el controlador del robot.

Cuando el robot envía una señal donde muestra el término de la secuencia, el robot empieza a desplazarse por medio del riel y se ubica frente al torno. Si esa secuencia ya está finalizada y si la puerta de la cabina del torno está abierta, el robot entra a dejar el cilindro, el gripper se cierra y presiona el cilindro de tal manera que la pieza queda sujeta por el gripper en el torno y el robot sale del torno.

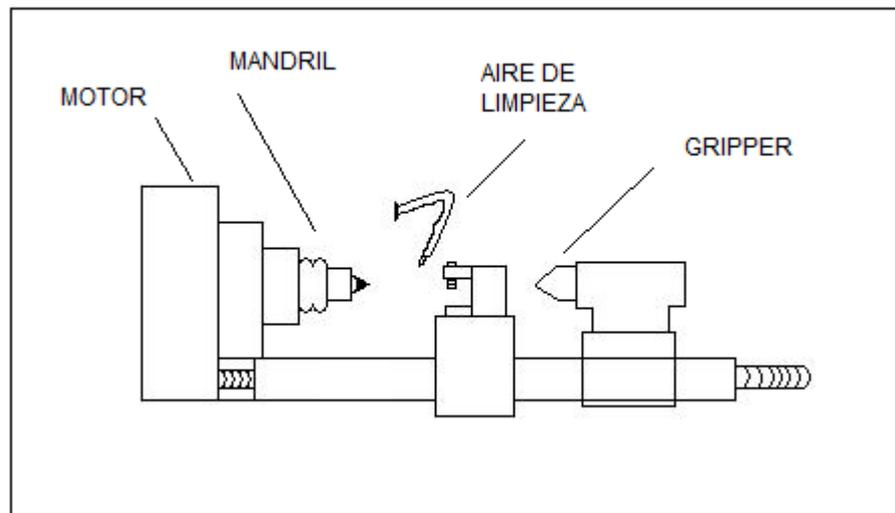


Figura. 5.2. Elementos del Torno que son Activados por el PLC

Al salir el robot del torno manda una señal de fin de rutina al PLC, y este envía una señal para cerrar la puerta, otra señal para encender el motor del torno que simula el maquinado de la pieza y una última señal que enciende el aire de limpieza de la pieza trabajada, entregado a través de una pequeña manguera ubicada cerca al maquinado de la pieza. La figura 5.2 muestra cada uno de los elementos que se activan por medio de las señales del PLC.

Cuando el maquinado termina la puerta se abre, el robot entra y al torno y recoge el cilindro.

Si el robot terminó esa secuencia, envía una señal y con ayuda del desplazamiento del riel se ubica frente a un vagón vacío y deja el cilindro con lo que se termina la secuencia y se espera el inicio de un nuevo ciclo.

5.4.3 Descripción del diagrama de flujo del Prisma. El robot parte de una posición inicial en la posición de carga o descarga del vagón para la estación FMS, a esta posición se la denomina posición inicial.

Una vez que se recibe la señal que un vagón ha llegado puesta en el diagrama como *llego prisma*, el robot coge el prisma mediante una secuencia programada en el controlador del robot. Cuando el robot envía una señal donde muestra el término de la secuencia, el robot empieza a desplazarse por medio del riel y se ubica frente a la fresadora.

Si esa secuencia ya está finalizada y si la puerta de la fresadora está abierta, el robot entra a dejar el prisma, el gripper se cierra y presiona el prisma de tal manera que la pieza queda sujeta por el gripper en la fresadora y el robot sale de la fresadora.

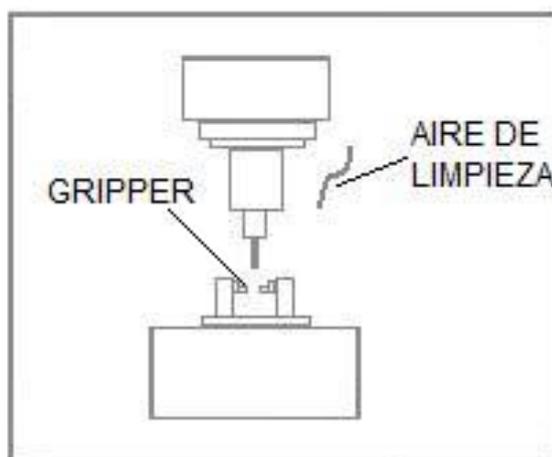


Figura. 5.3. Elementos de la Fresadora que son Activados por el PLC

Al salir el robot de la fresadora manda una señal de fin de rutina al PLC, y este envía una señal para cerrar la puerta, una señal que enciende el aire de limpieza de la pieza trabajada, entregado a través de una pequeña manguera ubicada cerca al maquinado de la pieza. La figura 5.3 muestra cada uno de los elementos que se activan por medio de las señales del PLC. Cuando el maquinado termina la puerta se abre, el robot entra y a la fresadora y recoge el prisma.

Si el robot terminó esa secuencia, envía una señal y con ayuda del desplazamiento del riel se ubica frente a un vagón vacío y deja el prisma trabajado con lo que se termina la secuencia y se espera el inicio de un nuevo ciclo. Esta es la descripción del diagrama de flujo mostrado en la figura 5.6.

5.4.4 Diagrama general de flujo sistema automático

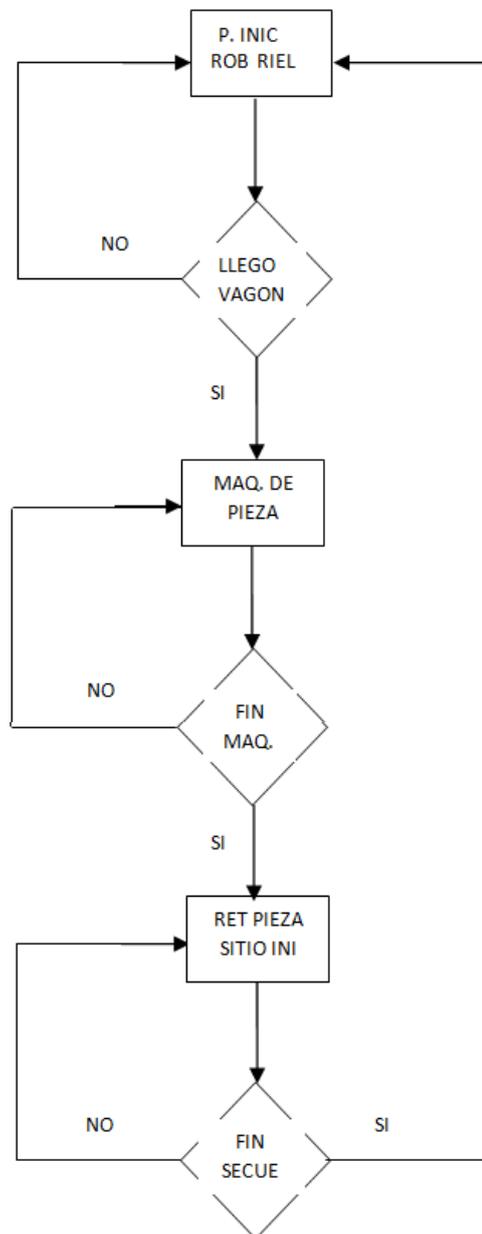


Figura. 5.4. Diagrama general de flujo de la estación FMS

5.4.5 Diagrama de flujo del cilindro

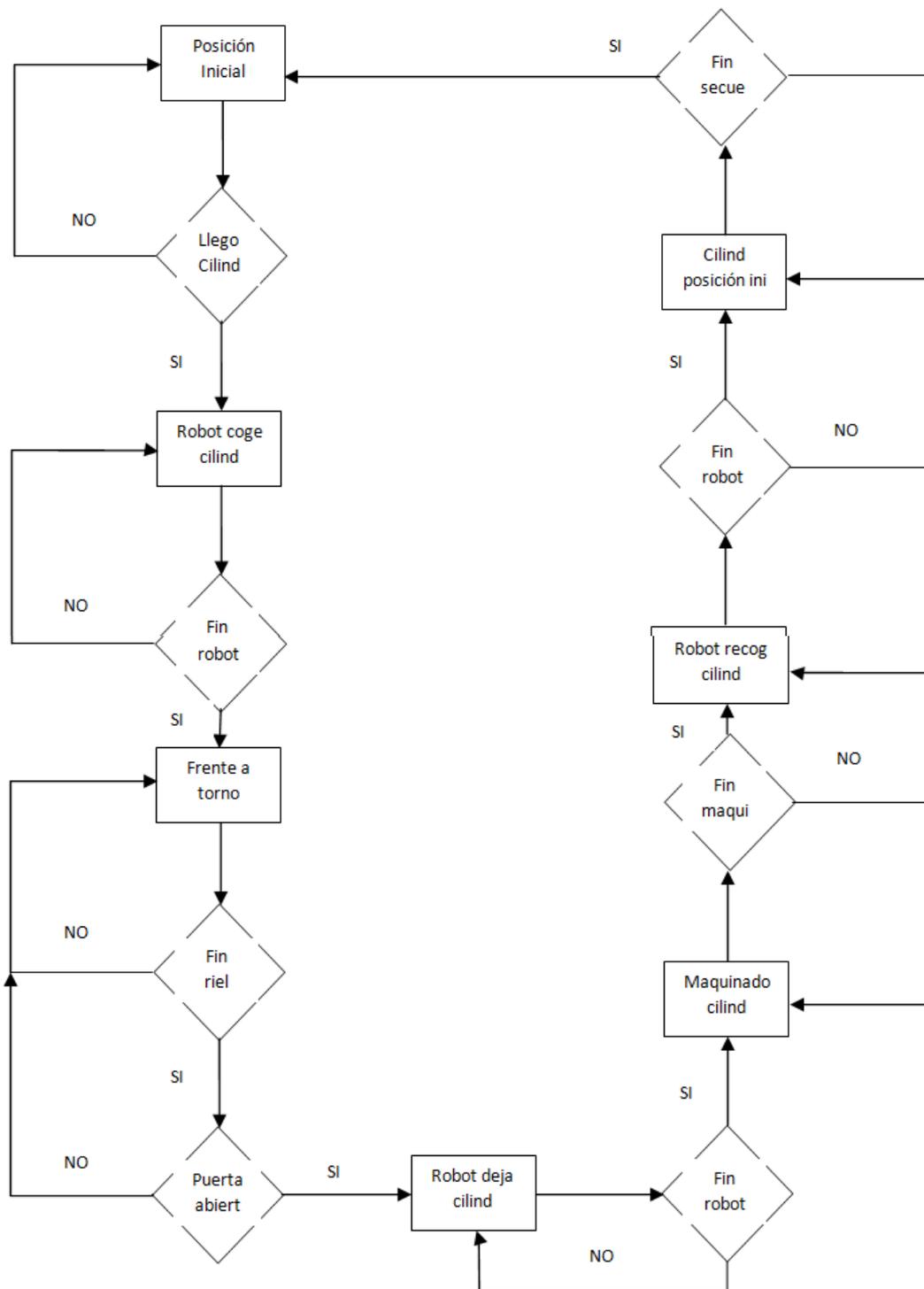


Figura 5.5. Diagrama de flujo del maquinado del cilindro

5.4.6 Diagrama de flujo del prisma

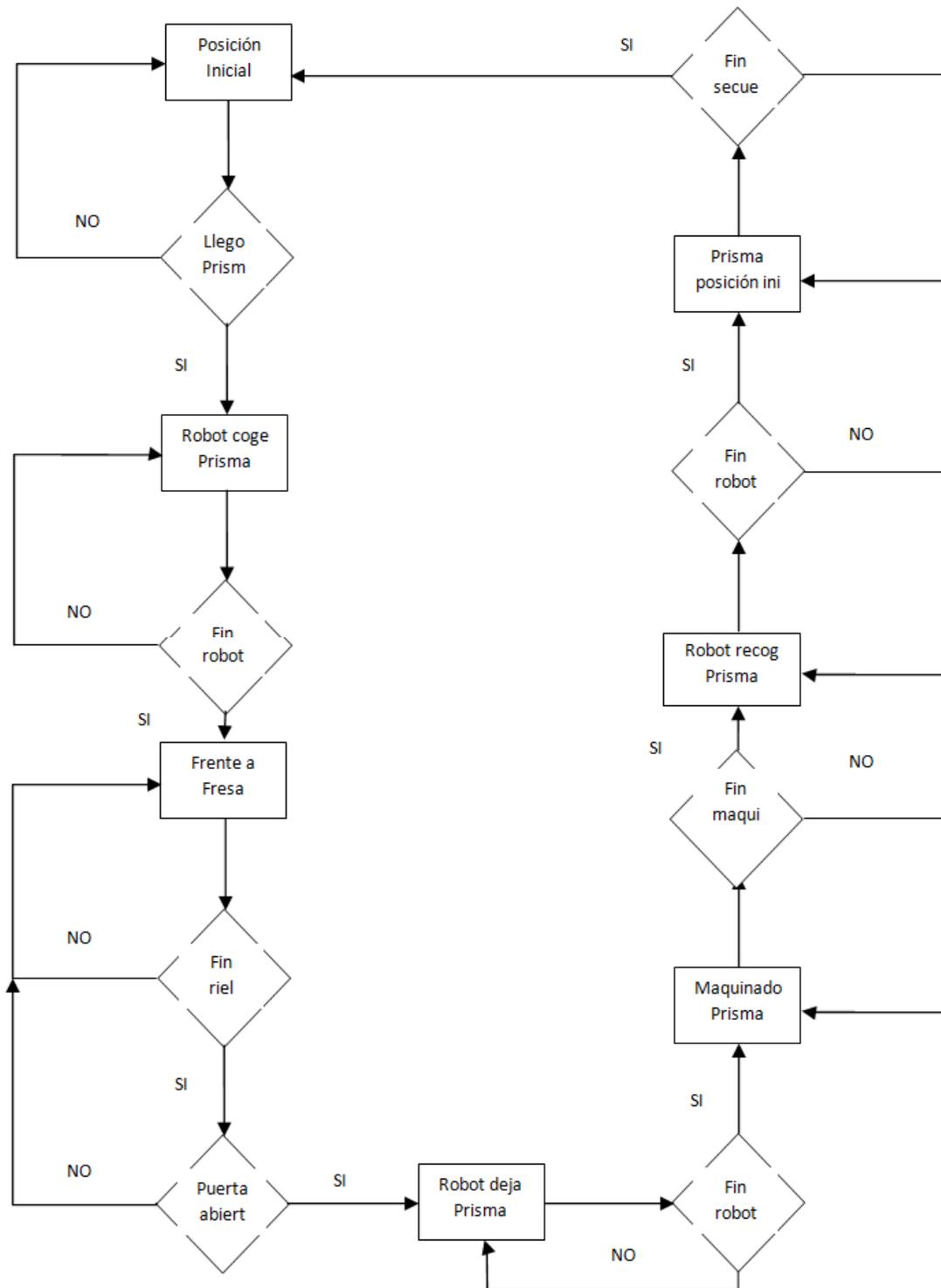


Figura. 5.6. Diagrama de flujo del maquinado del prisma

5.5 SOFTWARE DESARROLLADO

Para la ejecución y puesta en marcha de la estación FMS es necesario la programación sobre RSlogix que es el software con que trabaja el PLC CompactLogix 5000 que básicamente es el núcleo de la estación. La programación sobre FactoryTalk View que es como se logra la interacción entre el usuario y la estación mediante la HMI.

5.5.1 Programación del PLC en el RSlogix 5000. Con el software de programación RSLogix 5000, sólo se necesita un paquete de este software para aplicaciones referentes a procesos discretos, por lotes, de movimiento, seguridad entre otras. El Software RSLogix 5000 ofrece una solución fácil de usar con una interfaz compatible, una programación simbólica con estructuras y arreglos, además un amplio conjunto de instrucciones que sirven en muchos tipos de aplicaciones. Proporciona lógica de escalera, texto estructurado, diagrama de bloques de funciones y editores de diagrama de funciones secuenciales para el desarrollo del programa. [12]

5.5.2 Características. Aunque la necesidad sea en una ingeniería de control o ingeniería de servicio, la productividad es un elemento clave en el éxito de la empresa así como en la mejora de los conocimientos profesionales. Se ha diseñado el Software RSLogix 5000 como una ayuda empresarial para mejorar y aumentar su productividad y sus conocimientos, independientemente del tipo de trabajo, la industria y de la ubicación de la empresa. [13]

RSLogix 5000 es una plataforma de software que tiene muchos beneficios y características, entre las principales se mencionan las siguientes:

- Puede utilizarse para aplicaciones de base discreta, de proceso, de lote, de movimiento, de seguridad y de variadores.
- Permite realizar fácilmente la depuración y el mantenimiento de la aplicación, con forzado de entradas y salidas, edición de tiempo de ejecución, adición de tiempo de ejecución de módulos entrada salida seleccionados y tendencias.

- Es compatible con la familia escalable de controladores programables de automatización Logix.
- Permite fragmentar la aplicación en programas más pequeños que pueden volver a utilizarse, rutinas e instrucciones que pueden crearse al utilizar distintos lenguajes de programación: diagrama de lógica de escalera, diagrama de bloque de funciones, texto estructurado y diagrama de funciones secuenciales.
- Incluye un conjunto extenso de instrucciones incorporadas que se puede aumentar al crear sus propias instrucciones add-on definidas por el usuario.
- Permite escribir la aplicación sin tener que preocuparse de la configuración de la memoria.

5.5.3 Tags y Conjunto de instrucciones. El software busca automáticamente las descripciones de tags o etiquetas si éstas no se muestran. Un tag de alias, tag de matriz o tipo de datos personalizado aprovecha las descripciones desde su tag de base o tipo de datos. Con los tipos de datos personalizados, el software concatena la descripción de raíz del tag con la descripción de miembro del tipo de datos. Esto crea una descripción muy específica, ahorra tiempo de desarrollo y mejora la documentación resultante.

El editor de las instrucciones add-on genera automáticamente ayuda en línea para cada instrucción al aprovechar la información introducida en la definición de la instrucción, sus parámetros y su configuración. Esto, junto con la posibilidad de importar y exportar instrucciones add-on definidas por el usuario a un archivo XML, le permite distribuir instrucciones autónomas y documentadas.

El uso de etiquetas es el método para asignar direcciones de memoria y referencias en los controladores de Allen Bradley Logix5000, además son una base de texto puro en un esquema de direccionamiento. Se trata de una desviación de las formas más convencionales de la programación de PLCs.

En un inicio los PLC Allen Bradley eran programados con el software RSLogix 5 y RSLogix 500 donde había archivos de datos para almacenar

entradas, salidas y otros valores internos. Estos archivos de datos diferentes sólo podrían sostener un tipo de datos. El tipo de datos define el formato y el tamaño del valor almacenado, en la tabla 5.1 se puede observar la descripción de los archivos que contienen los tipos de datos.

FILE #	TIPO	DESCRIPCIÓN
00	Salida	Este archivo almacena el estado de los terminales de salida para el contador
I1	Entrada	Este archivo almacena el estado de los terminales de entrada para el contador
S2	Estatus	Este archivo almacena la información de controlador de operación útil para solucionar problemas de control y operación del programa
B3	Trozo	Este archivo almacena la lógica de relé interior
T4	Temporizador	Este archivo almacena el acumulador del temporizador y los valores preestablecidos y los bits de estado
C5	Contador	Este archivo almacena el acumulador del contador y de los valores preestablecidos y los bits de estado
R6	Control	Este archivo se almacena la longitud, la posición de puntero y los bits de estado para las instrucciones de control, como registro de desplazamiento y secuenciadores.
N7	Entero	Este archivo se utiliza para almacenar la información de bits o los valores numéricos con un rango de -32767 a 32768
F8	De punto flotante	Este archivo almacena un # con una serie de 1.1754944e-38 a 3.40282347e+38

Tabla. 5.1. Archivos de almacenamiento del tipo de datos

5.5.4 Creación de tags o etiquetas. Al momento de crear o introducir una etiqueta se deben seguir algunas recomendaciones con la finalidad de evitar confusiones o errores durante la programación o ejecución del programa. El nombre dado a la etiqueta cuenta con las siguientes reglas:

- Solamente debe tener caracteres alfabéticos (AZ o az), caracteres numéricos (0-9), y guiones bajos (_),
- Debe comenzar con un carácter alfabético o un guión
- No más de 40 caracteres
- No caracteres de subrayado (_) consecutivos o finales y
- No entre mayúsculas y minúsculas

Aunque las etiquetas no pueden contener mayúsculas y minúsculas, es una buena práctica mezclar los casos para mejorar la legibilidad. Es mucho más fácil leer Line1_Start que LINE1START o line1start.

Además, la lista de etiquetas utilizadas se presenta por orden alfabético, por lo tanto, es mejor usar los caracteres similares cuando se quiere etiquetas que sean mostradas juntas en la lista del monitor. [14]

5.5.5 Tipos de datos de la etiqueta. Cada etiqueta puede relacionarse con un tipo de dato, ejemplo: booleano, entero, etc. Para seleccionar un tipo de datos para la etiqueta, se lo puede realizar escribiendo en él o haciendo clic en el botón respectivo y seleccionar un tipo de la lista. Un tipo de datos es una definición del tamaño y el diseño de memoria asignada a la etiqueta creada. Los tipos de datos definen cuántos bits, bytes o palabras de datos de una etiqueta se va a utilizar. Como se puede observar en la tabla 5.2 los tipos de datos con los cuales se cuenta y sus características son los siguientes:

TIPO DE DATO	ABREVIACIÓN	BITS EN MEMORIA	RANGO
Booleano	BOOL	1	0-1
Entero Corto	SINT	8	-128 a 127
Entero	INT	16	-32,768 a 32,767
Doble Entero	DINT	32	- 2,147,483,648 a 2,147,483,647
Número Real	REAL	32	+/- 3.402823E38 a +/- 1.1754944E-38

Tabla. 5.2. Tipos de datos de una etiqueta

Los controladores Logix 5000 trabajan con un espacio de memoria de 32-bits, es decir, las palabras de memoria son de 32-bits de ancho. Sin importar el tipo de dato utilizado, incluso si se trata de un tipo de datos booleano o entero, siempre se reserva 32 bits de memoria. Por esta razón, es mejor utilizar un tipo doble entero cuando se trata de números enteros. Además, un controlador Logix

5000 normalmente compara o manipula los valores como valores de 32 bits (doble entero o número real).

5.5.6 Estilo de una etiqueta. El estilo es la forma en la que se muestra la etiqueta de forma predeterminada. La tabla 5.3 proporciona información sobre la base y la notación utilizada para cada estilo.

ESTILO	BASE	NOTACIÓN
Binario	2	2 #
Decimal	10	
Hexadecimal	16	16 #
Octal	8	8 #
Exponencial		0.0000000e 000
Flotante		0,0

Tabla. 5.3. Estilo, base y notación de una etiqueta

5.5.7 Programación en escalera. El método utilizado para realizar la programación del PLC es la conocida programación en escalera donde se utilizan peldaños o rungs sobre los cuales se colocan y se enlazan las instrucciones.

El controlador evalúa las instrucciones de escalera colocadas en los peldaños de la instrucción anterior, y establece la condición actual de un determinado peldaño para continuar con la evaluación de los siguientes peldaños.

Basándose en la condición actual de un peldaño y la instrucción que se encuentre utilizando, los siguientes peldaños se ven afectados por el estado o los estados que anteriormente se hayan realizado dependiendo de las instrucciones dadas. El método de programación utilizado es bastante amigable y fácil de realizar, como se puede observar en la figura 5.7, se muestra una programación en escalera y los elementos que intervienen en la elaboración del programa.

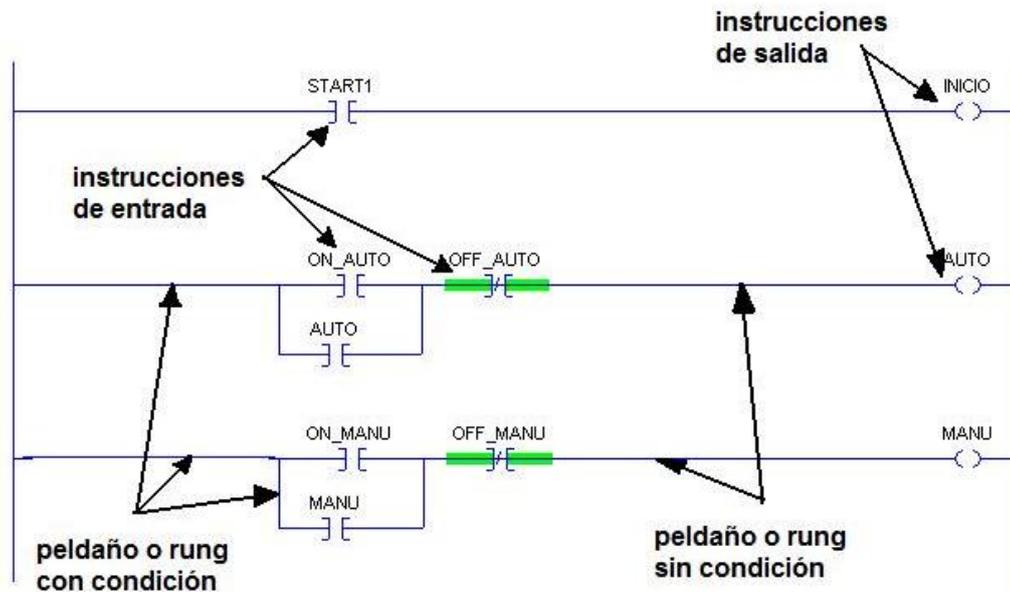


Figura. 5.7. Programación en escalera

En esta parte del documento se muestra el proceso de programación y los pasos que se siguen para la utilización del mencionado software. Obviamente el programa RSLogix 5000 debe haber sido instalado correctamente para obtener un buen enlace y comunicación con el PLC. Los pasos a seguir para la programación se indican a continuación.

Al igual que cualquier otro programa, el RSLogix 5000 se lo ejecuta de la manera tradicional que siempre se realiza, es decir, hacer click en inicio, programas, Rockwell Software y RSLogix 5000. Este es el primer paso para empezar la programación del PLC. La figura 5.8 muestra como abrir el programa desde la barra de herramientas.

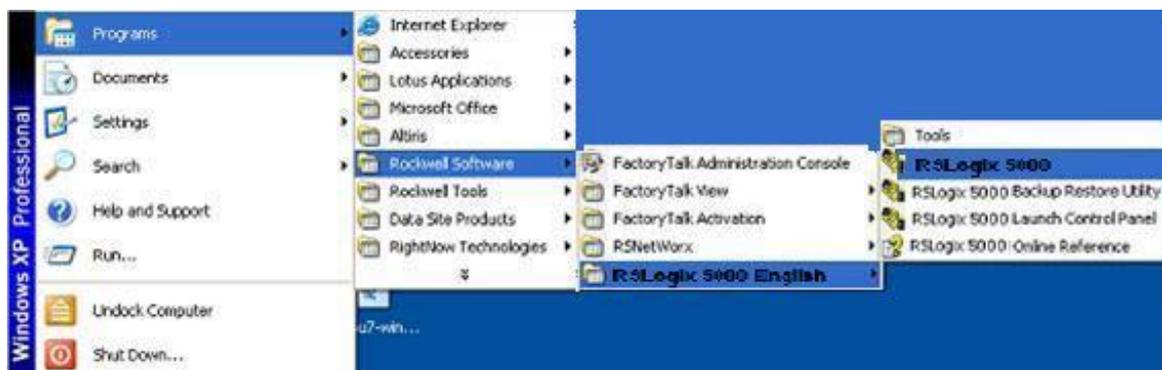


Figura. 5.8. Selección del software requerido

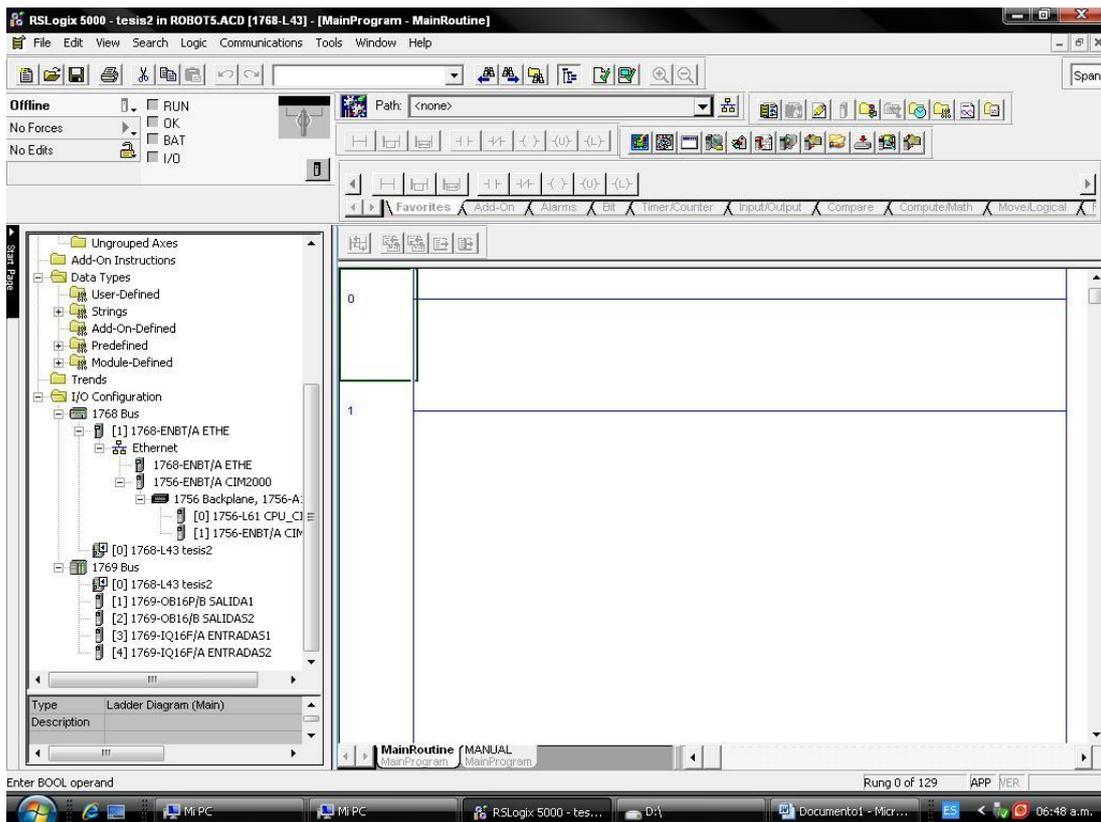


Figura. 5.10. Ventana de programación de las rutinas

La programación se la puede realizar primero declarando las etiquetas que se van a utilizar con todos los parámetros y especificaciones, para luego ser utilizados en el MainRoutine (Figura 5.10) o en su defecto se puede ir programando las rutinas y sobre la marcha se van declarando los tags utilizados, esta segunda forma es la más acertada ya que las etiquetas se van utilizando de acuerdo a los requerimientos del programa, aunque las dos formas son aceptadas, todo depende de la comodidad de la persona quien esté programando siempre y cuando se sigan los lineamientos de programación, como por ejemplo que no existan errores en los nombres de los tags utilizados ya que deben coincidir en las dos pestañas de programación como se puede ver en las figuras 5.11 y 5.12.

AUTO			BOOL	Decimal	
INICIO			BOOL	Decimal	
ON_AUTO			BOOL	Decimal	
ON_MANU			BOOL	Decimal	
OFF_AUTO			BOOL	Decimal	
OFF_MANU			BOOL	Decimal	
MANU			BOOL	Decimal	
START1			BOOL	Decimal	

Figura. 5.11. Declaración de las etiquetas a utilizar

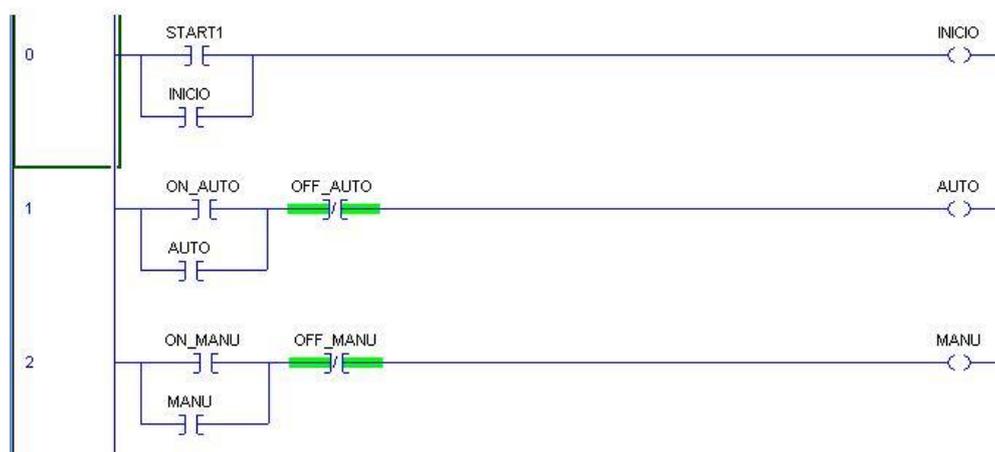


Figura. 5.12. Etiquetas utilizadas en las rutinas programadas

Al realizar todo el proceso del programa, siguiendo la recomendación de declarar los tags necesarios y utilizar los mismos en la programación de rutinas. Además se debe localizar los contactores en las conexiones correctas del PLC.

En las figuras 5.13 y 5.14 se muestran una parte de las pantallas del programa obtenido para el funcionamiento del Controlador Compact Logix 5000 de Allen Bradley.

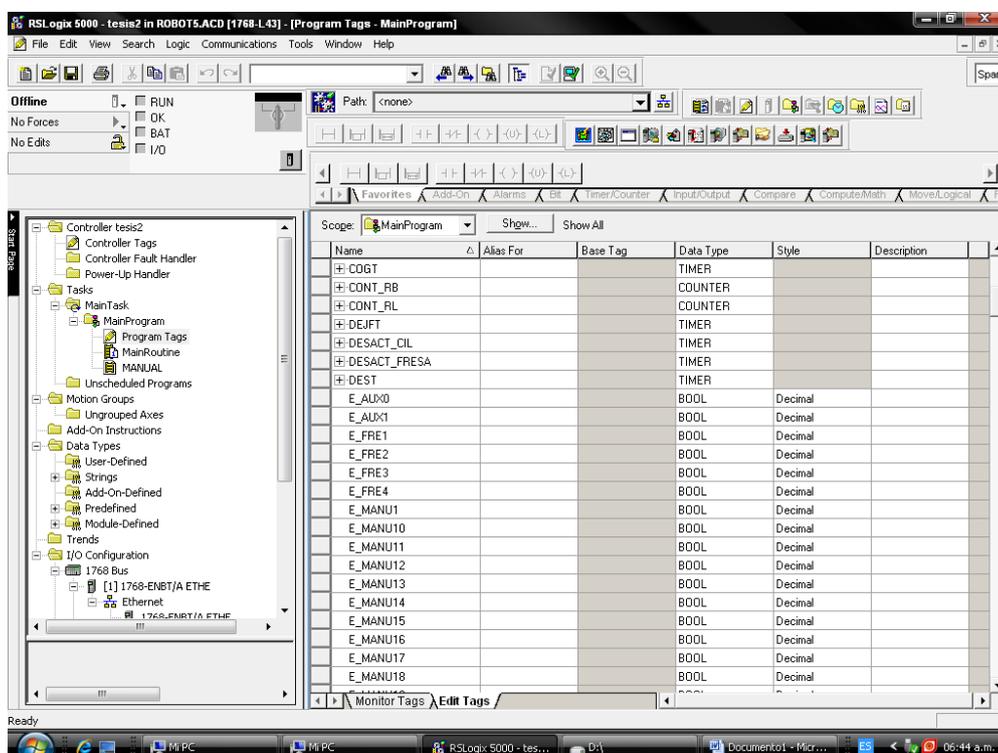


Figura. 5.13. Tags utilizados en el programa del PLC

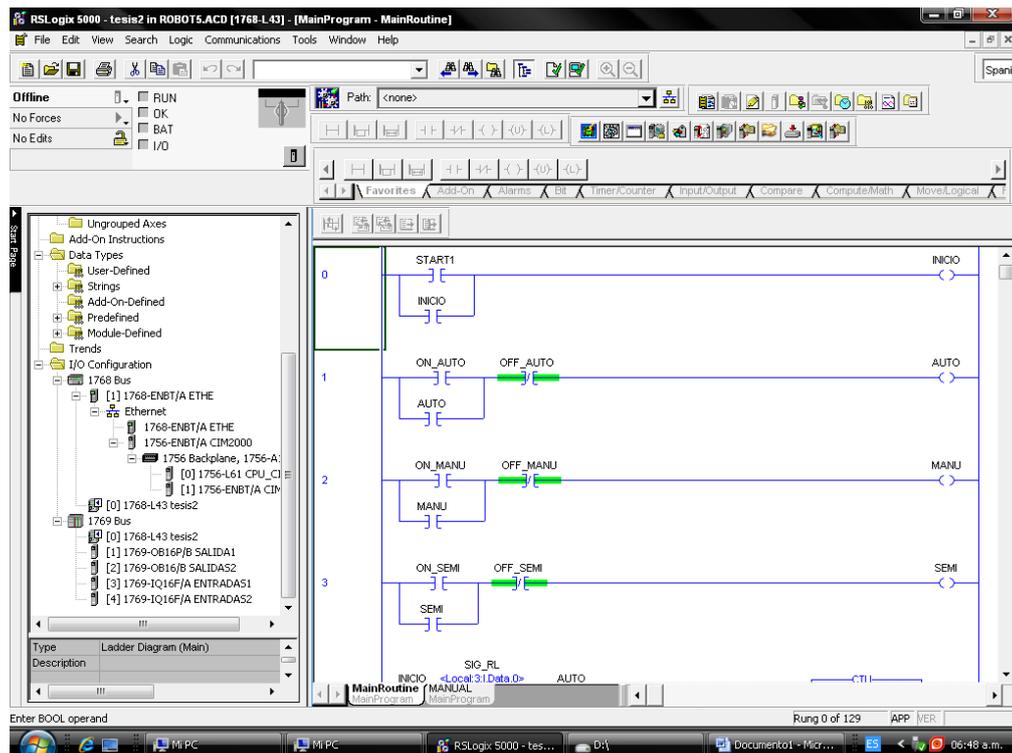


Figura. 5.14. Rutina del PLC programada

5.5.8 Programación del Brazo Robótico. El brazo robótico es el mecanismo que ejecuta los movimientos necesarios para tomar y colocar las piezas. Para ello usa un software que permita programar los movimientos del robot mediante el controlador robótico C500C; el software utilizado es el conocido ROBCOM que mediante rutinas con órdenes e instrucciones en el momento de ejecución permiten al robot alcanzar posiciones guardadas con anterioridad.

En la figura 5.15 se muestra la pantalla del ROBCOM, se pueden observar las rutinas y órdenes que se envían al controlador robótico para ejecutar los movimientos respectivos.

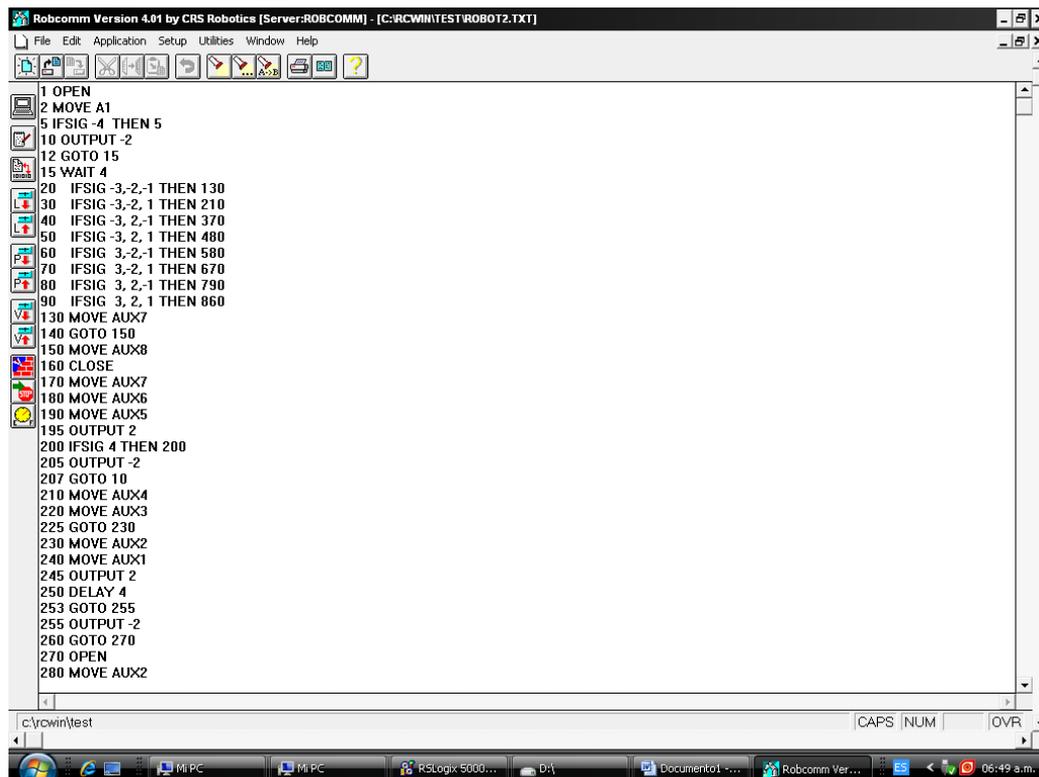


Figura. 5.15. Programa del brazo robótico en ROBCOM

Todas las sentencias y órdenes que se han programado para el robot se ejecutan de manera secuencial y ordenada, luego de haber obtenido el programa completo, se procede a compilarlo para verificar si no existen errores de escritura de las instrucciones principalmente; obtenidos estos requerimientos el programa es enviado hacia el controlador como se aprecia en la figura 5.16.

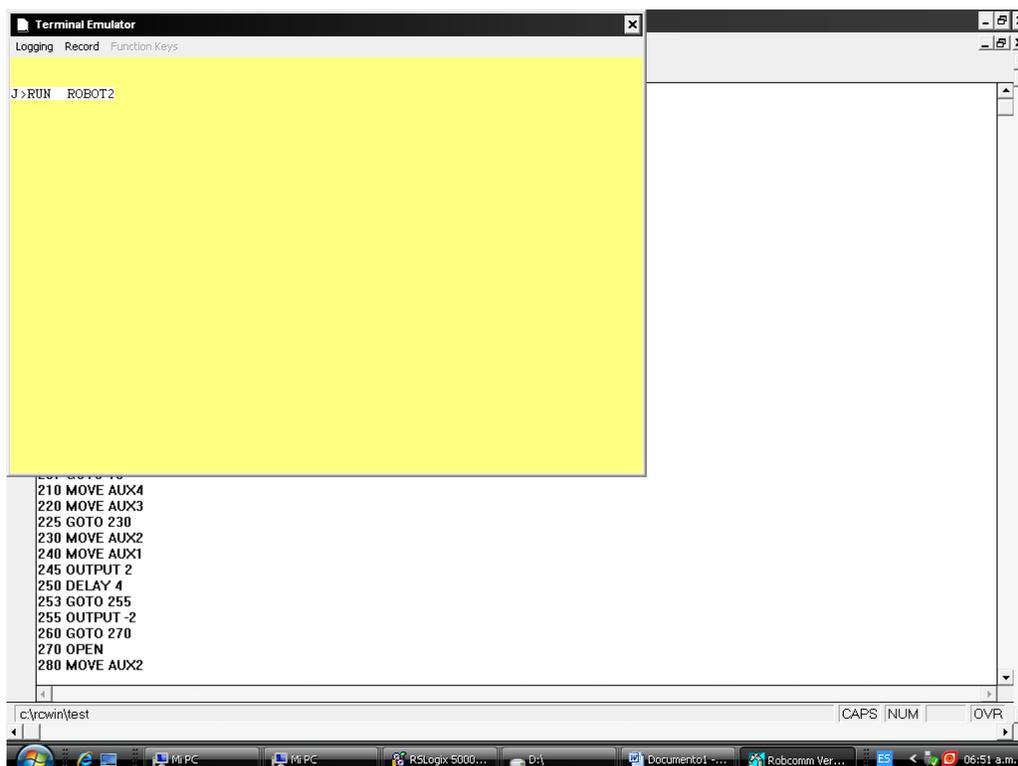


Figura. 5.16. Enviando el programa desde el ROBCOM hacia el controlador robótico

De esta manera el programa se encuentra cargado correctamente y a la espera de las órdenes del PLC para que el controlador robótico envíe las señales respectivas y se ejecuten las rutinas pertinentes en el momento justo.

5.5.9 Diseño Factory Talk View. Una de las principales aplicaciones y bondades que ofrece la plataforma de Allen Bradley, es el uso del software Factory Talk View que permite realizar una interfaz entre el usuario y la estación de maquinado en general.

Al igual que el RSLogix 5000 la programación y la presentación de este software son bastante amigables para el usuario y además permite desarrollar aplicaciones de alto nivel, no solo porque se pueden realizar simulaciones en tiempo real sino porque se obtienen datos reales y verdaderos con los cuales se puede realizar visualizaciones en una interfaz creada por el usuario.

En particular para la estación se diseñó una interfaz en tiempo real donde se pueden observar los movimientos robóticos de la estación FMS y de esta forma

realizar un control del proceso de maquinado. A continuación se describe la utilización del software para las diferentes aplicaciones.

Para establecer la programación en Factory Talk View es necesario identificar algunas partes que posee este software como por ejemplo la barra de menús, barra de herramientas, el espacio de trabajo, la barra de estados entre otras tal como se puede apreciar en la figura 5.17.

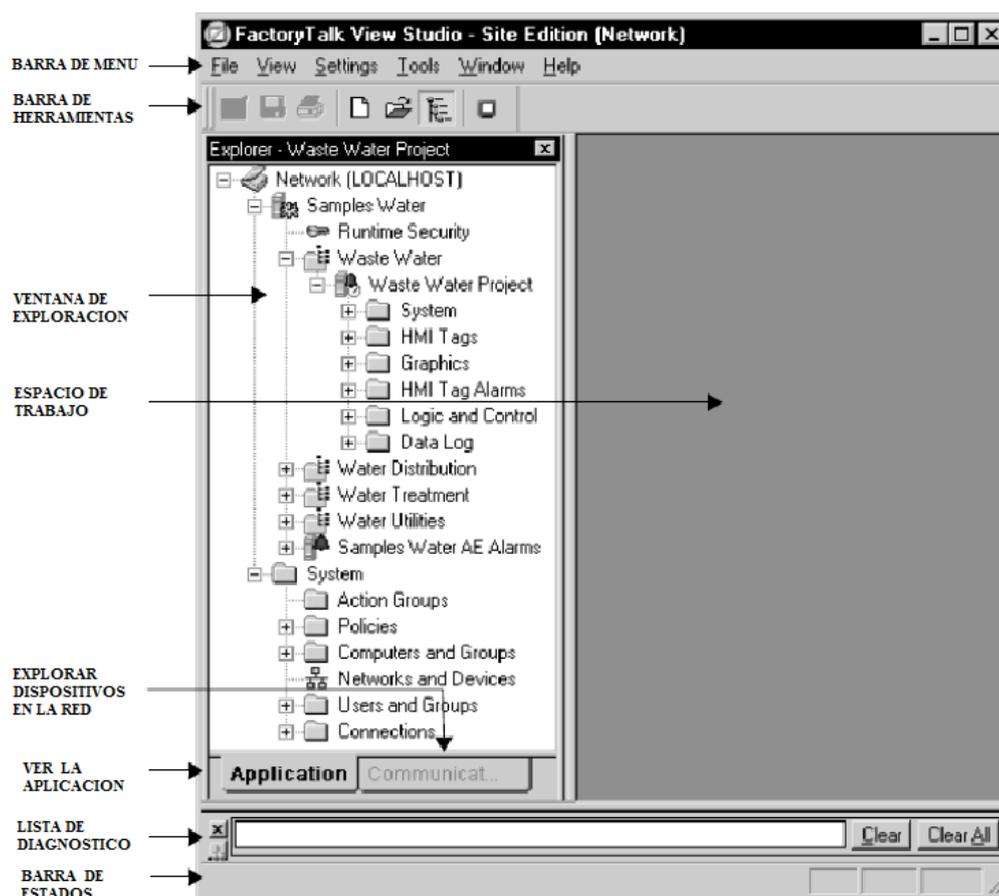


Figura. 5.17. Partes en la ventana del Factory Talk View

En la ventana principal del Factory Talk View se encuentra una herramienta de las partes principales que es bastante útil y necesaria, la ventana de exploración que se muestra en la figura 5.18, donde se ve el directorio de redes, el nombre de la aplicación, el servidor, y los componentes de los iconos para realizar la interfaz requerida.

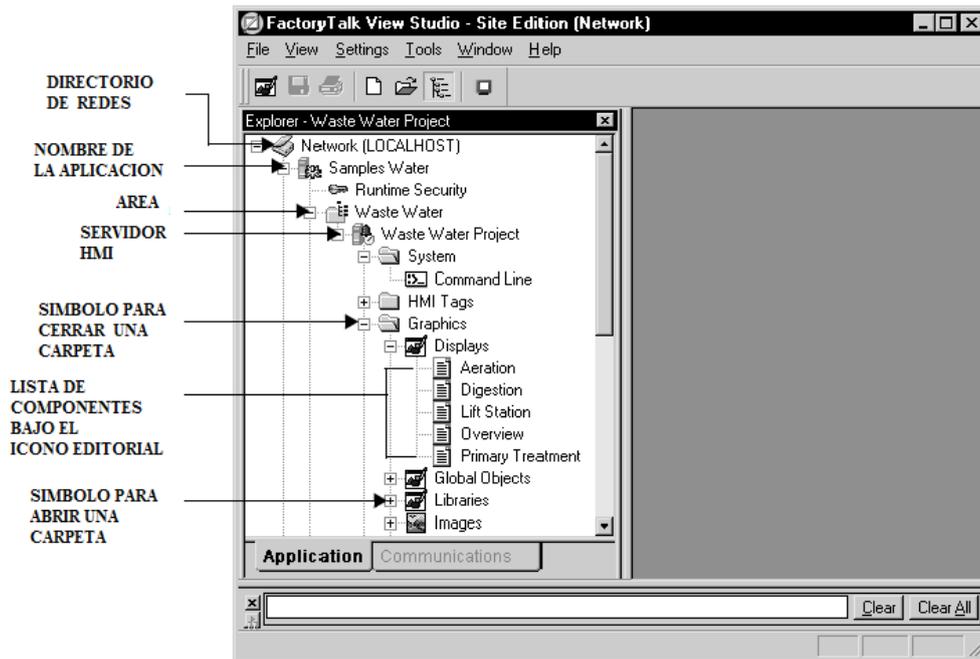


Figura. 5.18. Ventana de exploración

Para realizar la interfaz de la estación de maquinado FMS se cuenta con botones y objetos básicos para crear las ventanas pertinentes de control y simulación, la figura 5.19 muestra los botones básicos que se utilizan como herramienta para la creación de la HMI.

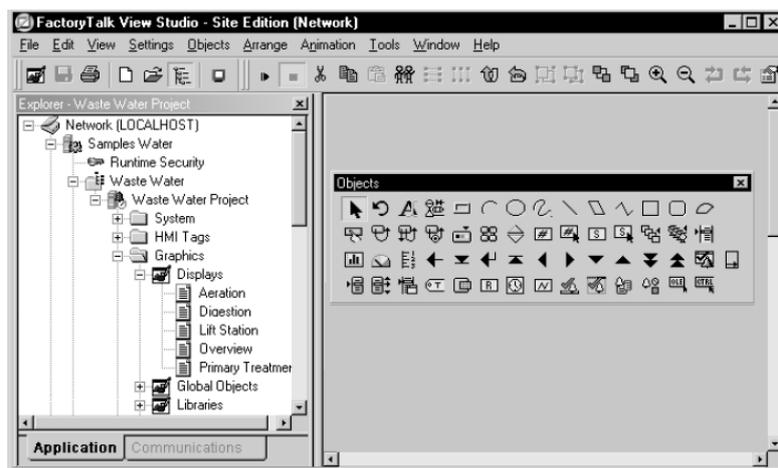


Figura. 5.19. Objetos y figuras básicas para la HMI

Las figuras siguientes muestran las ventanas obtenidas para la interfaz de la estación de maquinado y la descripción de cada una de ellas.

En la figura 5.20 se observa la pantalla principal de la HMI donde se puede escoger una breve introducción de la estación, fotos y el acceso al proceso de maquinado, para esto se debe pulsar el botón INICIO y escribir la clave de usuario correcta.



Figura. 5.20. Ventana principal de la HMI

Tal como se puede apreciar en la figura 5.21 el usuario ha ingresado la contraseña correcta y puede acceder al proceso.



Figura. 5.21. Ventana de ingreso de contraseña

La figura 5.22 muestra la ventana donde se escoge el modo de funcionamiento con el cual se quiere que trabaje la estación. Se puede elegir entre los modos automático, semi-automático y manual. Además se puede acceder y visualizar las señales del PLC.



Figura. 5.22. Ventana de modos de operación

En el caso de escoger un funcionamiento en forma automática, la estación comienza a trabajar a partir de una señal enviada desde la estación central, lo cual se conoce como permiso de trabajo; además en la ventana mostrada en la figura 5.23 que es la ventana de simulación en modo automático, se observa que se puede activar y desactivar este modo de funcionamiento.



Figura. 5.23. Ventana de simulación del modo automático

Para el modo de funcionamiento semi-automático aparece otra ventana que se observa en la figura 5.24; la misma que permite escoger con que pieza se va a trabajar o elaborar.



Figura. 5.24. Menú del proceso semi-automático

Para el funcionamiento semi-automático de la fresadora se tiene la ventana mostrada en la figura 5.25 donde se activa el funcionamiento, y que movimiento se desea realizar en la estación.



Figura. 5.25. Modo semi-automático de la fresadora

El funcionamiento semi-automático del torno se observa en la ventana mostrada en la figura 5.26 donde se activa el funcionamiento, y que movimiento se desea realizar en la estación.



Figura. 5.26. Modo semi-automático del torno

En la figura 5.27 se muestra el menú para el modo de funcionamiento en forma manual donde se escoge que tipo de material se va a elaborar.



Figura. 5.27. Menú para funcionamiento manual

Si se escoge trabajar con la fresadora, aparece una ventana que se ve en la figura 5.28 donde se siguen los pasos para cada uno de los movimientos del robot.



Figura. 5.28. Funcionamiento manual de la fresadora

De igual manera, al escoger el torno, se siguen los pasos correspondientes para la elaboración del cilindro como se ve en la figura 5.29.



Figura. 5.29. Funcionamiento manual del torno

5.6 EXPLICACION DEL PROGRAMA

Debido a la extensión del programa del controlador en esta parte del documento se explica la filosofía de las principales rutinas, bloques e instrucciones utilizadas en el programa, a partir de estos bloques, el resto del programa sigue el mismo principio y la misma lógica, con la diferencia que cada instrucción es activada con diferentes sentencias determinadas por las combinaciones de los contadores y en diferentes tiempos.

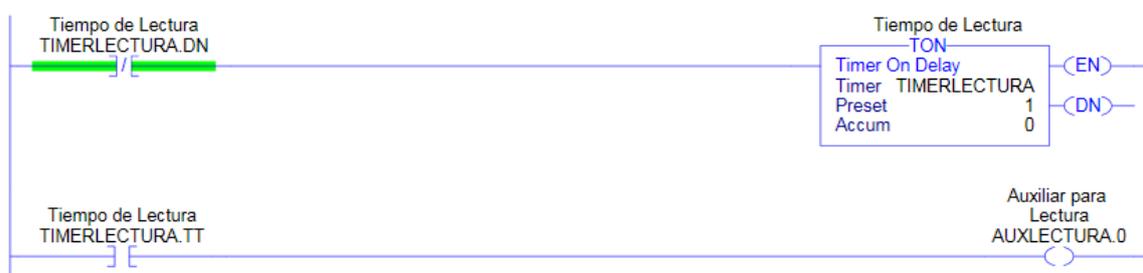


Figura. 5.30. Rutina de actualización de datos

La figura 5.30 muestra que la bobina AUXLECTURA.0 se activa con el contador de tiempo de lectura, permitiendo actualizar los datos que se leen por medio de los mensajes.

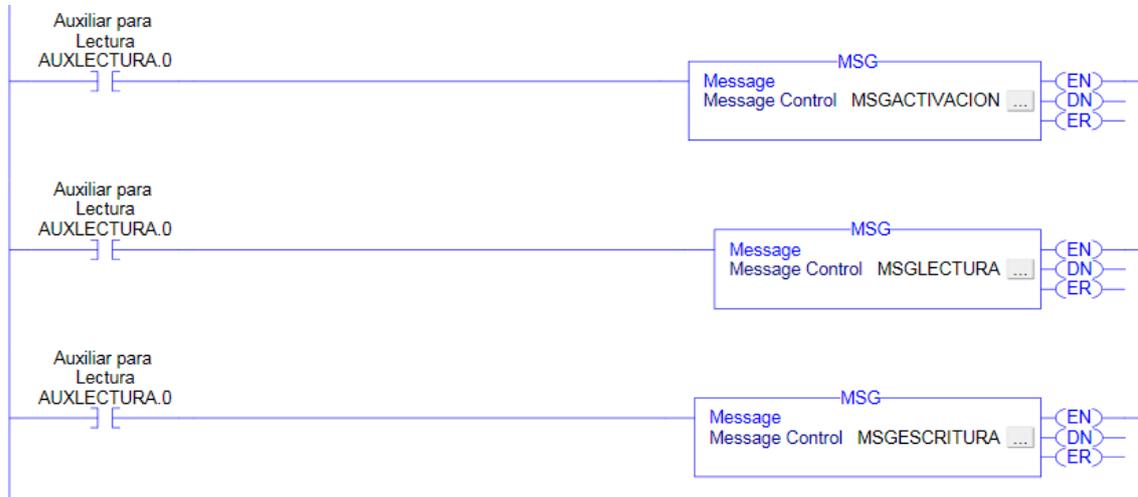


Figura. 5.31. Rutina de mensajes

La figura 5.31 muestra los mensajes de activación, lectura y escritura, que se activan cada vez que AUXLECTURA.0 es activada y así se van actualizando los datos enviados por mensajes vía Ethernet.

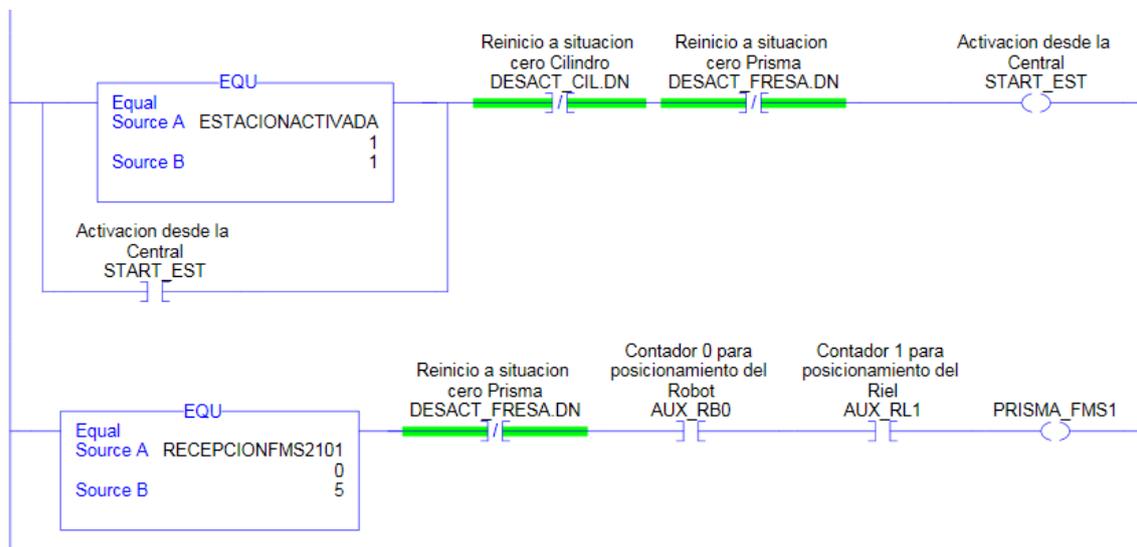


Figura. 5.32. Rutina de comparación de los datos enviados por mensajes

La bobina START_EST activa la estación cuando la comparación de ESTACIONACTIVADA es verdadera como se ve en la figura 5.32, de este modo la estación central activa a la FMS por medio de mensajes.

De igual manera, cuando la comparación del dato enviado por mensaje es verdadera, la bobina PRISMA_FMS1 activa el proceso de la fresadora cuando desde la estación central se indica que ha enviado un prisma para ser elaborado.



Figura. 5.33. Rutina que indica proceso terminado

La figura 5.33 indica cuando DESACT_FRESA.DN es activada, la instrucción MOV permite escribir el dato correspondiente y enviar por medio de mensaje indicándole a la estación central que se ha concluido con el proceso de fresado.

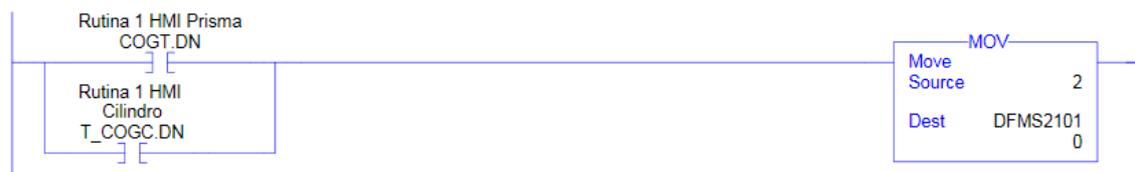


Figura. 5.34. Rutina que indica pallet vacío

Como se ve en la figura 5.34 al activarse COGT.DN ó T_COGC.DN se activa la instrucción MOV, la misma que escribe el dato en el mensaje indicándole a la estación central que el pallet está vacío.

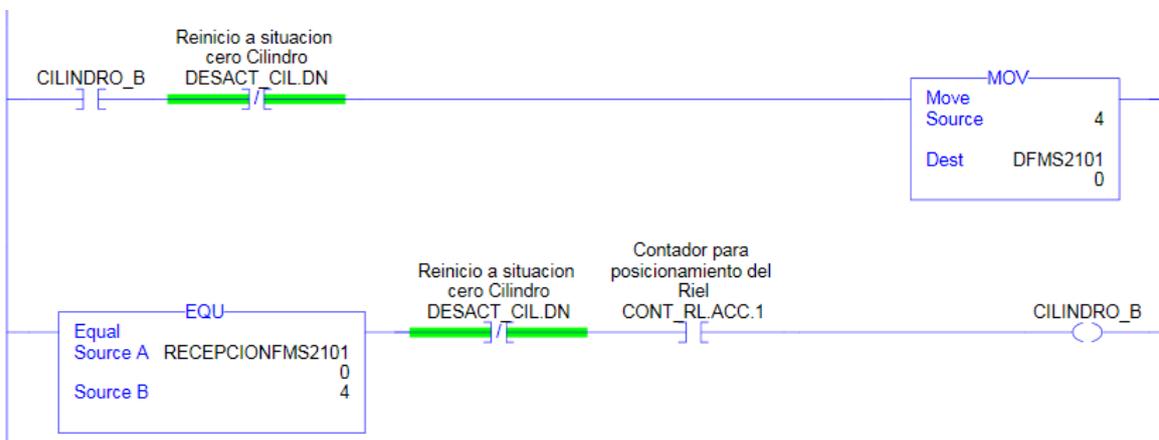


Figura. 5.35. Rutina que indica cilindro B recibido

En la figura 5.35 se realiza la comparación del dato enviado por mensaje y si el dato es 4 se activa la bobina CILINDRO_B indicando que se ha enviado un cilindro para ser procesado en el torno.

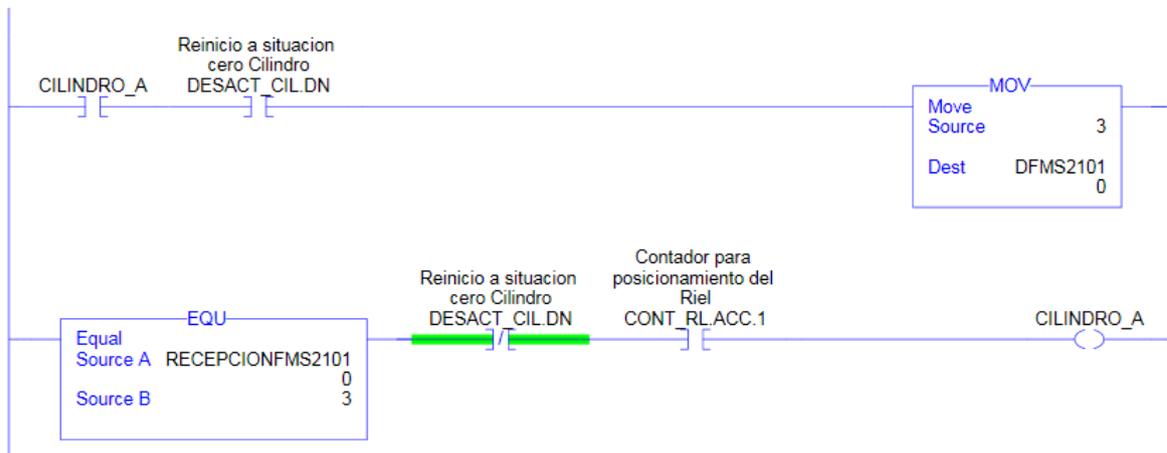


Figura. 5.36. Rutina que indica cilindro A recibido

De igual forma en la figura 5.36 se realiza la comparación del dato enviado por mensaje y si el dato es 3 se activa la bobina CILINDRO_A indicando que se ha enviado un cilindro para ser procesado en el torno.

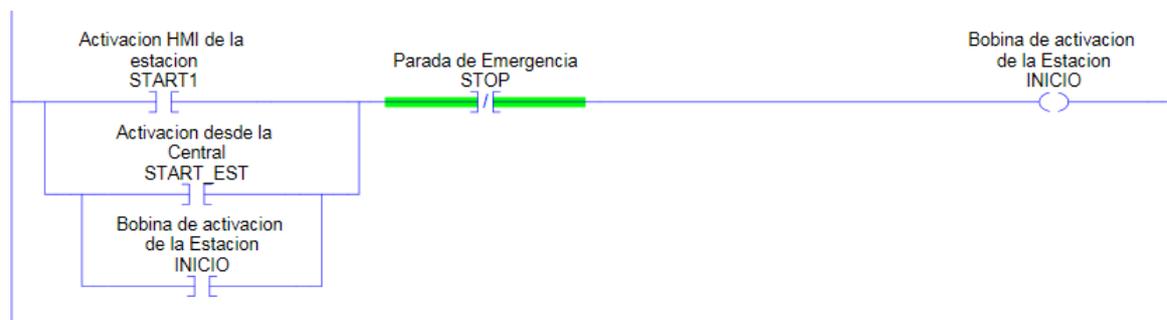


Figura. 5.37. Rutina de activación de la estación FMS

Como se muestra en la figura 5.37 la bobina INICIO y sus contactores se activan y se enclavan con el contactor START1, que está asociado y es activado vía Ethernet pulsando el botón ACTIVAR ESTACIÓN en la HMI ó con el contactor START_EST que se activa desde la estación central, dándole a la estación FMS el control para iniciar el proceso de maquinado. La comunicación entre los botones en la HMI y los contactores de activación en el programa se realiza vía Ethernet.

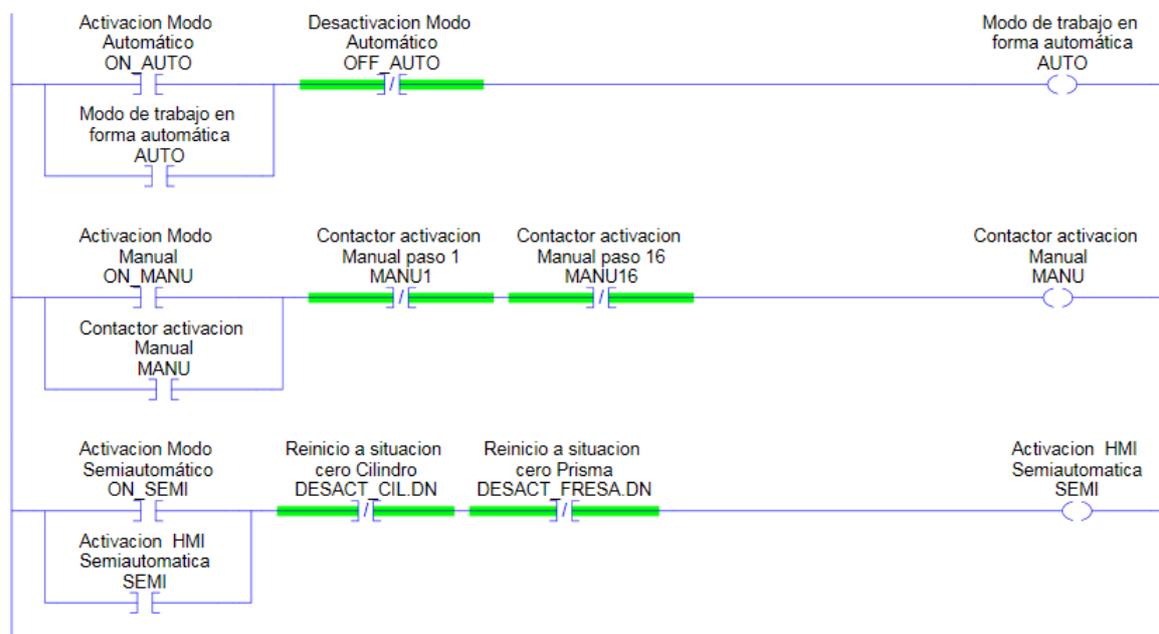


Figura. 5.38. Rutina de activación de los modos de operación

El programa presenta tres modos de operación: en forma automática, manual y semi-automática como se aprecia en la figura 5.38.

Para el modo automático, se activa y enclava la bobina AUTO con el contactor ON_AUTO pulsando el botón AUTOMÁTICO en la HMI. Su desenclavamiento se lo realiza con el contactor normalmente cerrado OFF_AUTO pulsando el botón DESACTIVAR AUTOMÁTICO en la HMI.

Para el modo manual, se activa y enclava la bobina MANU con el contactor ON_MANU pulsando el botón MANUAL en la HMI. Su desenclavamiento se lo realiza con el contactor normalmente cerrado OFF_MANU pulsando el botón DESACTIVAR MANUAL en la HMI.

Para el modo semi-automático, se activa y enclava la bobina SEMI con el contactor ON_SEMI pulsando el botón SEMIAUTOMÁTICO en la HMI. Su desenclavamiento se lo realiza con el contactor normalmente cerrado OFF_SEMI pulsando el botón DESACTIVAR SEMIAUTOMÁTICO en la HMI.

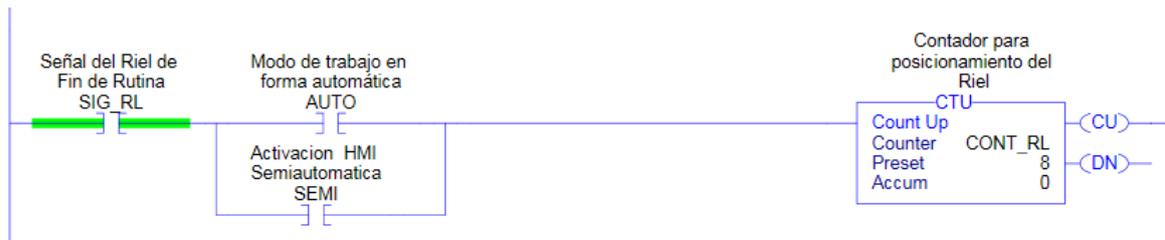


Figura. 5.39. Rutina de conteo de los avisos del Riel

La figura 5.39 muestra el contador del riel CONT_RL que cuenta las veces que el robot ha llegado a una posición determinada en el riel, así se puede saber en qué posición está el robot para ejecutar un movimiento. SIG_RL es la señal del riel que entra al PLC y activa el contador.

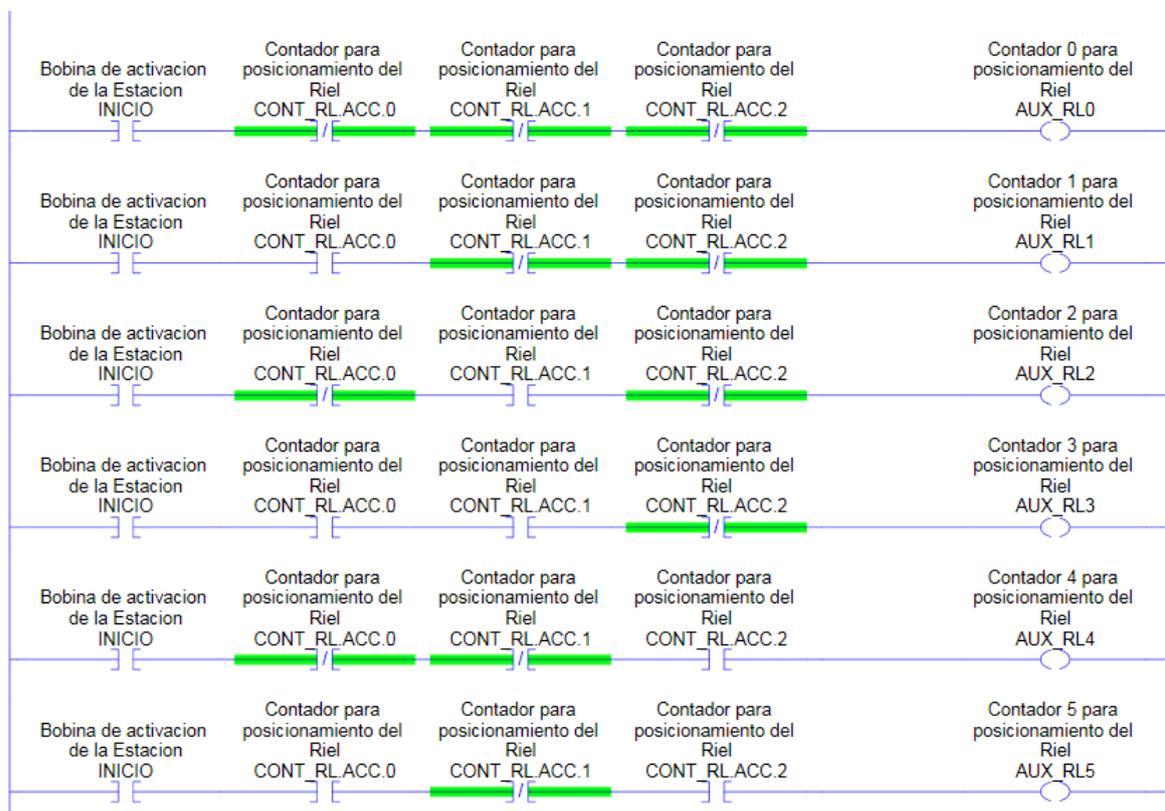


Figura. 5.40. Cuentas del Riel

En la figura 5.40 se indican las bobinas auxiliares AUX_RL del 0 al 5 que se activan a medida que el contador CONT_RL avanza el conteo. Y estas bobinas son utilizadas para las instrucciones de movimiento del robot, ya que una vez que termina el movimiento del riel el robot debe realizar una secuencia de movimientos. Se activan utilizando los bits de conteo CONT_RL.ACC.0, CONT_RL.ACC.1 y CONT_RL.ACC.2.



Figura. 5.41. Rutina de conteo de los avisos del Robot

En la figura 5.41 se ve el contador del robot CONT_RB que cuenta las veces que el robot ha terminado de realizar una secuencia, así se puede saber en qué momento el robot termina de ejecutar un movimiento. SIG_RB es la señal del robot que entra al PLC desde el controlador robótico y activa el contador.

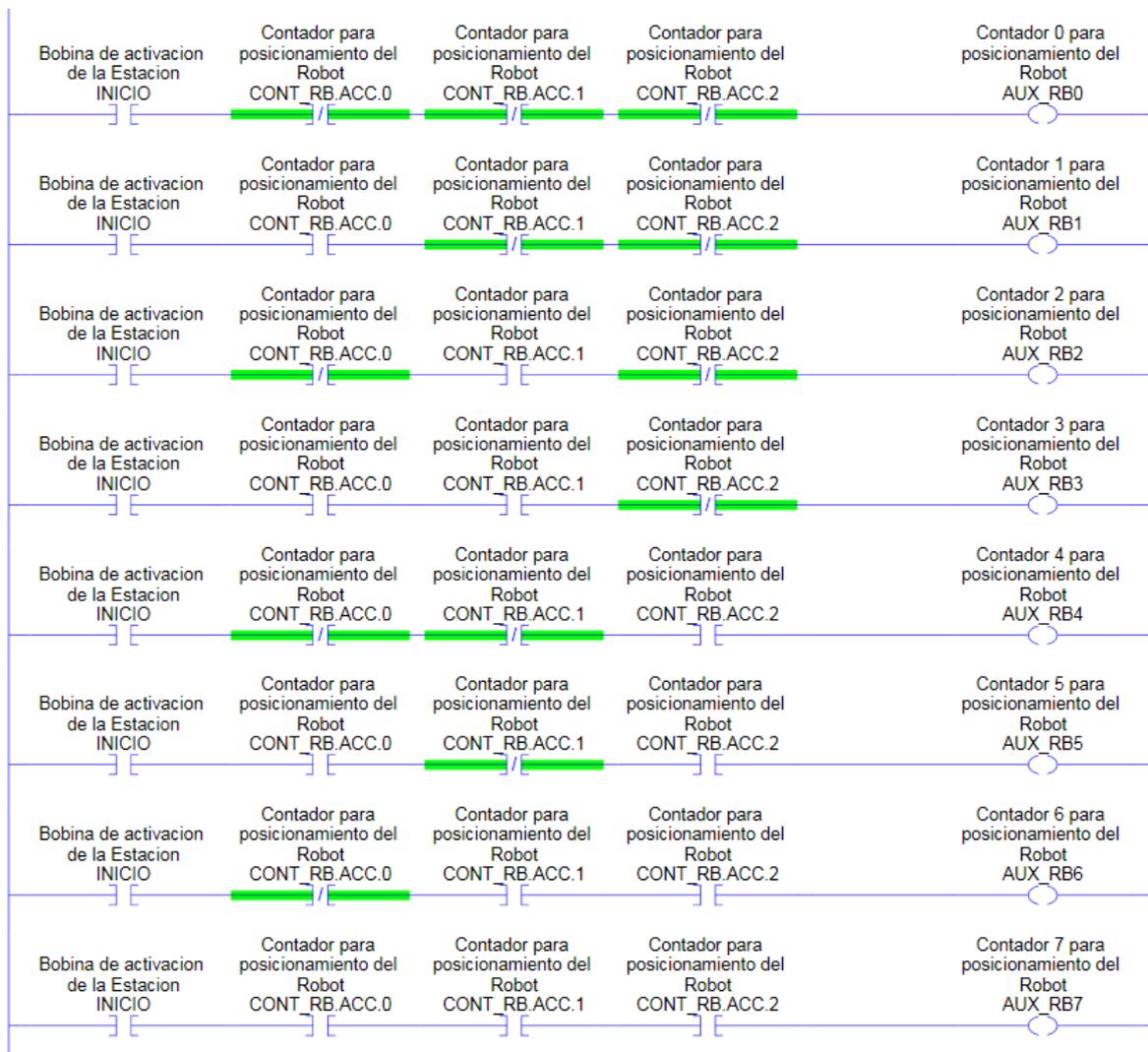


Figura. 5.42. Cuentas del Robot

Las bobinas auxiliares AUX_RB del 0 al 7 se indican en la figura 5.42 que se activan a medida que el contador CONT_RB avanza el conteo. Y estas bobinas son utilizadas para las instrucciones de movimiento del riel, ya que luego de que el robot termina una acción el riel debe realizar un movimiento. Se activan utilizando los bits de conteo CONT_RB.ACC.0, CONT_RB.ACC.1 y CONT_RB.ACC.2.

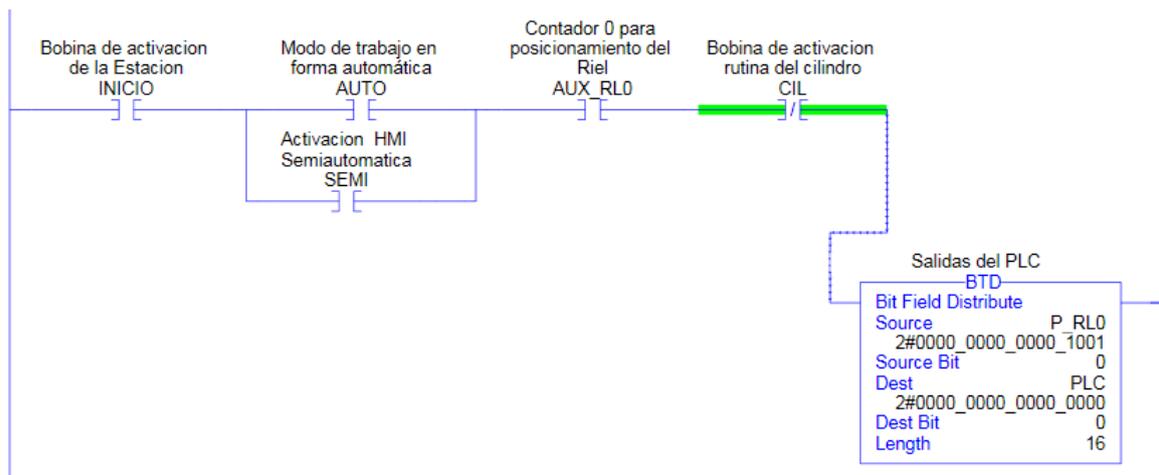


Figura. 5.43. El Riel se mueve a la posición 1

La figura 5.43 muestra la instrucción que permite ejecutar la primera acción del Riel.

Todas las instrucciones BTB (Campo de Distribución de Bits) están asociadas a las 16 salidas del PLC como se aprecia en la figura 5.44. Cada bit corresponde a una salida y las salidas en el BTB son las siguientes:

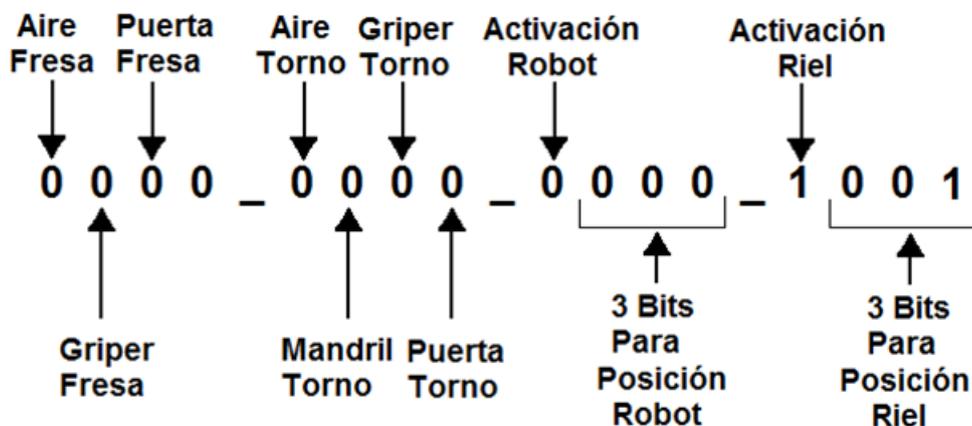


Figura. 5.44. Direccionamientos de los bits del BTB

Dependiendo que salida se necesite que sea activada cada BTD enviará “unos” a las salidas correspondientes.

El BTD con etiqueta P_RL0 que significa posición inicial del riel, se activa únicamente con el conteo en cero de la señal del robot, es decir cuando se activa la estación. Este BTD envía un “uno” que es la activación del riel, pero al mismo tiempo envía dos “ceros” y un “uno” que indican a qué posición debe desplazarse el riel, en este caso a la posición 1. Entonces el robot queda listo esperando la llegada del material.

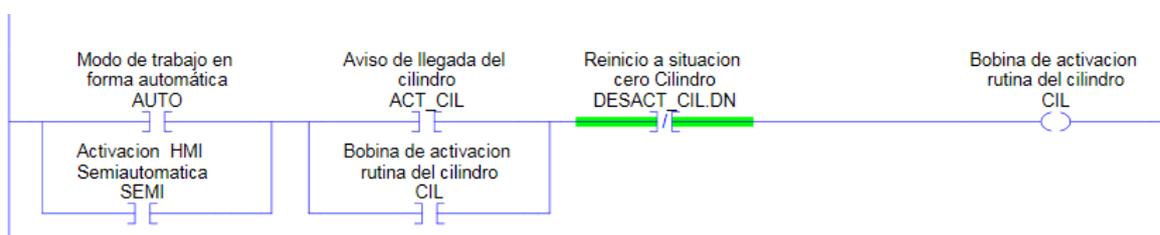


Figura. 5.45. Activación del proceso del cilindro

CIL es la bobina que se ve en la figura 5.45, activada y enclavada cuando se escoge trabajar con el cilindro. Vía Ethernet, la estación central envía un mensaje a la estación FMS indicando que el material que llega es un cilindro y se activa el contactor ACT_CIL y en consecuencia la bobina CIL para iniciar el proceso con el cilindro.

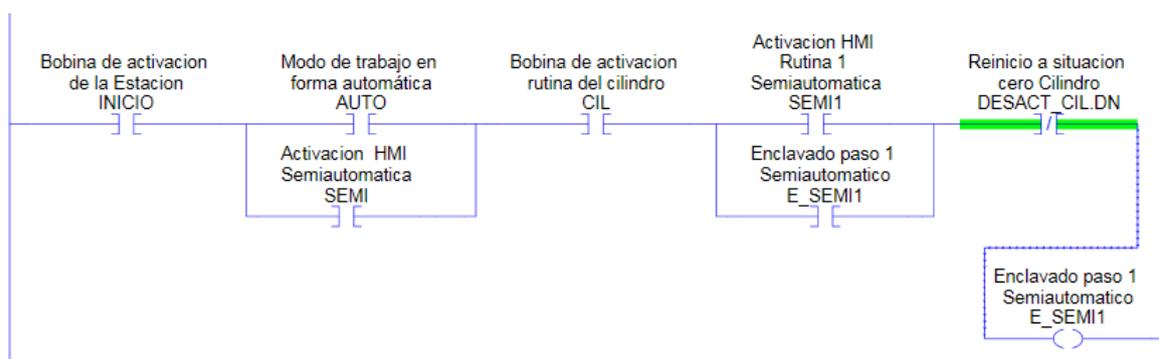


Figura. 5.46. Activación del primer paso de Semi-automático

En la figura 5.46 se puede apreciar que la bobina E_SEMI1 se activa y se enclava al escoger un modo semi-automático desde la HMI pulsando el botón TOMAR CILINDRO.

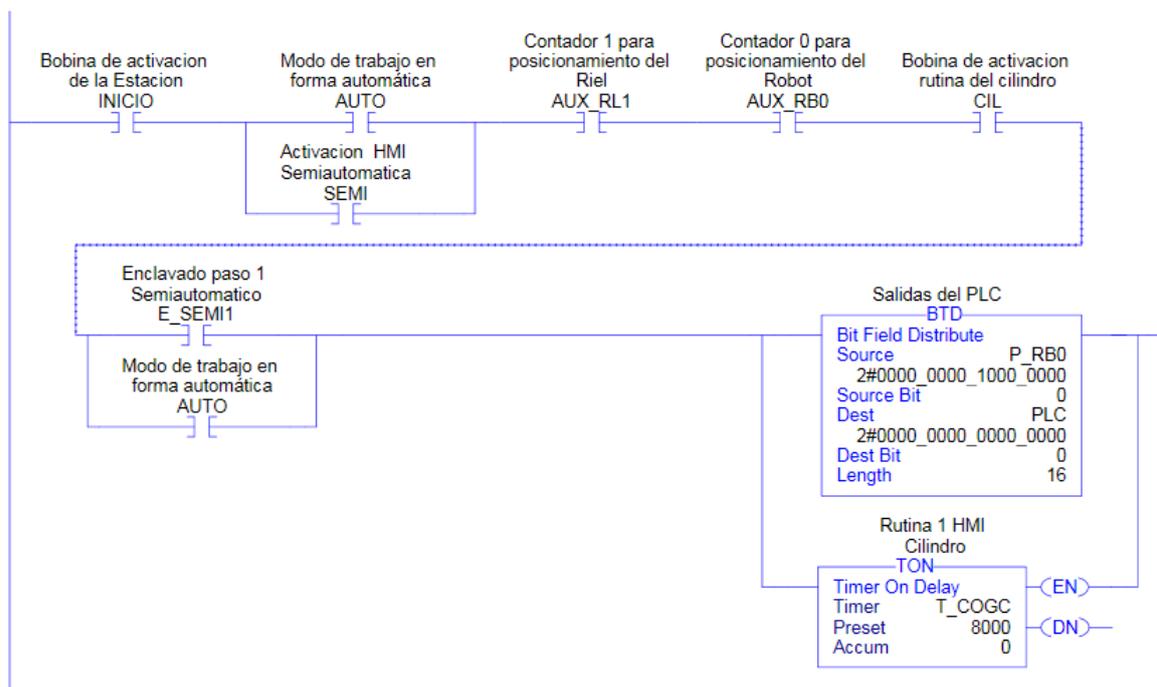


Figura. 5.47. Primera secuencia del Robot

Con el contador del riel en 1 y el contador del robot en cero se activa el BTD con etiqueta P_RB0 que indica que el robot va a realizar la secuencia inicial, es decir tomar el cilindro del vagón. Como se ve en la figura 5.47 este BTD envía un “uno” que es la activación del robot, pero al mismo tiempo envía los tres “ceros” que indican al robot realizar la rutina cero. Simultáneamente se activa un temporizador T_COGC (temporizador para coger el cilindro) seteado en 8 segundos cuyas activaciones se utilizan para ver los movimientos del robot en la HMI al coger el cilindro del vagón.

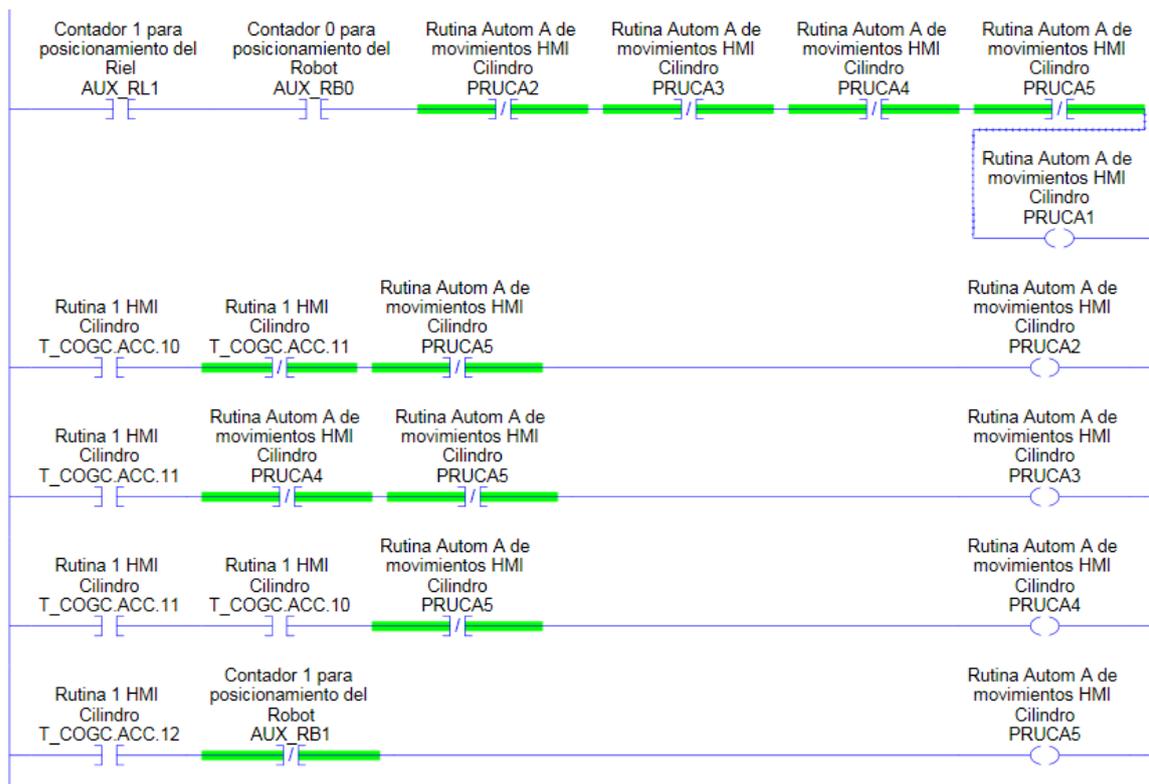


Figura. 5.48. Bobinas para primera animación de la HMI

La figura 5.48 muestra las bobinas PRUCA del 1 al 5 son bobinas que se activan según las sentencias asignadas y son utilizadas para simular los movimientos robot en la HMI cuando el robot coge el cilindro del vagón. Cada bobina activa la visualización de una imagen en la HMI simulando movimiento. Además tienen restricciones para que no se activen con otras combinaciones de bits del temporizador.

PRUCA1 se activa con el contador del riel en 1, el contador del robot en 0, y cuando aún no se ha cumplido el primer segundo del temporizador (contactores normalmente cerrados).

PRUCA2 se activa durante el primer segundo del temporizador, activado por T_COGC.ACC.10 (abierto) y TM_COGC.ACC.11 (cerrado) que son la combinación de bits para el primer segundo.

PRUCA3 se activa luego de dos segundos del temporizador, activado por T_COGC.ACC.11 (abierto) que es el bit del temporizador para los dos segundos.

PRUCA4 se activa luego de los tres segundos del temporizador, activado por T_COGC.ACC.10 (abierto) y T_COGC.ACC.11 (abierto) que son la combinación de bits para los tres segundos.

PRUCA5 se activa luego de los cuatro segundos del temporizador, activado por T_COGC.ACC.12 (abierto) que es el bit para los cuatro segundos.

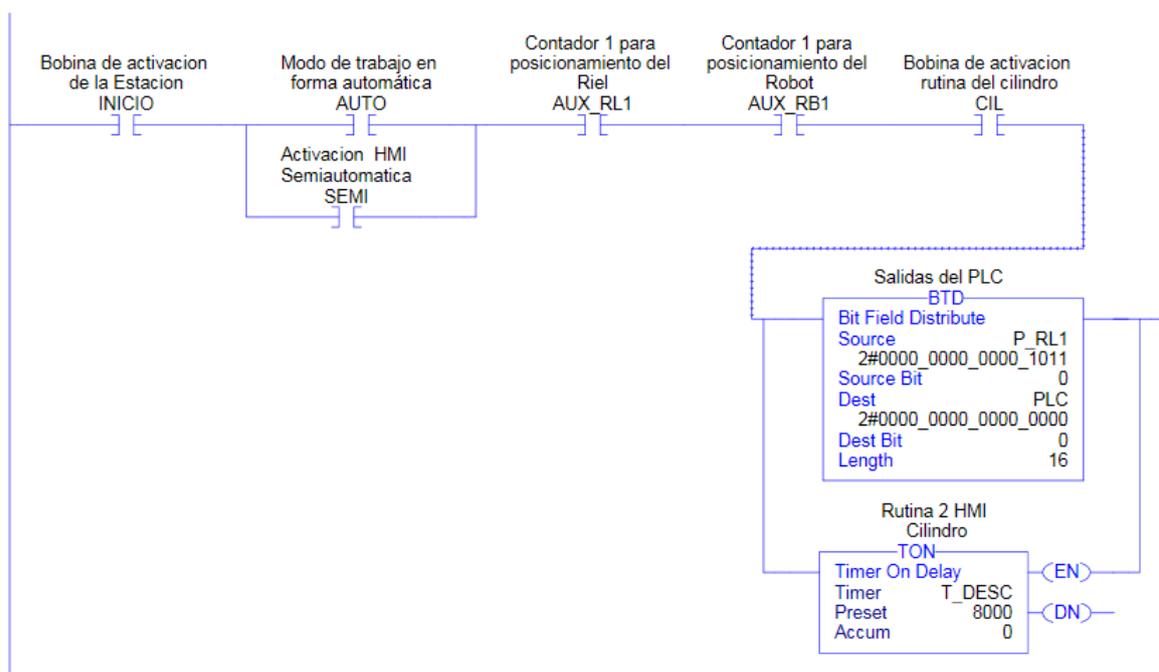


Figura. 5.49. El Riel se mueve a la posición 3

Con el contador del riel en 1 y el contador del robot en 1 se activa el BTD con etiqueta P_RL1 que indica que el robot se va a desplazar sobre el riel a la posición 3, es decir el robot luego de haber tomado el cilindro se desplaza por el riel y se queda frente al torno. Tal como se aprecia en la figura 5.49 el BTD envía un “uno” que es la activación del riel, pero al mismo tiempo envía un “ceros y dos unos” que indican a qué posición debe desplazarse el riel, en este caso a la posición 3. Simultáneamente se activa un temporizador T_DESC (temporizador para desplazar el cilindro) seteado en 8 segundos cuyas activaciones se utilizan para ver los movimientos del robot en la HMI al desplazarse el riel con el cilindro.

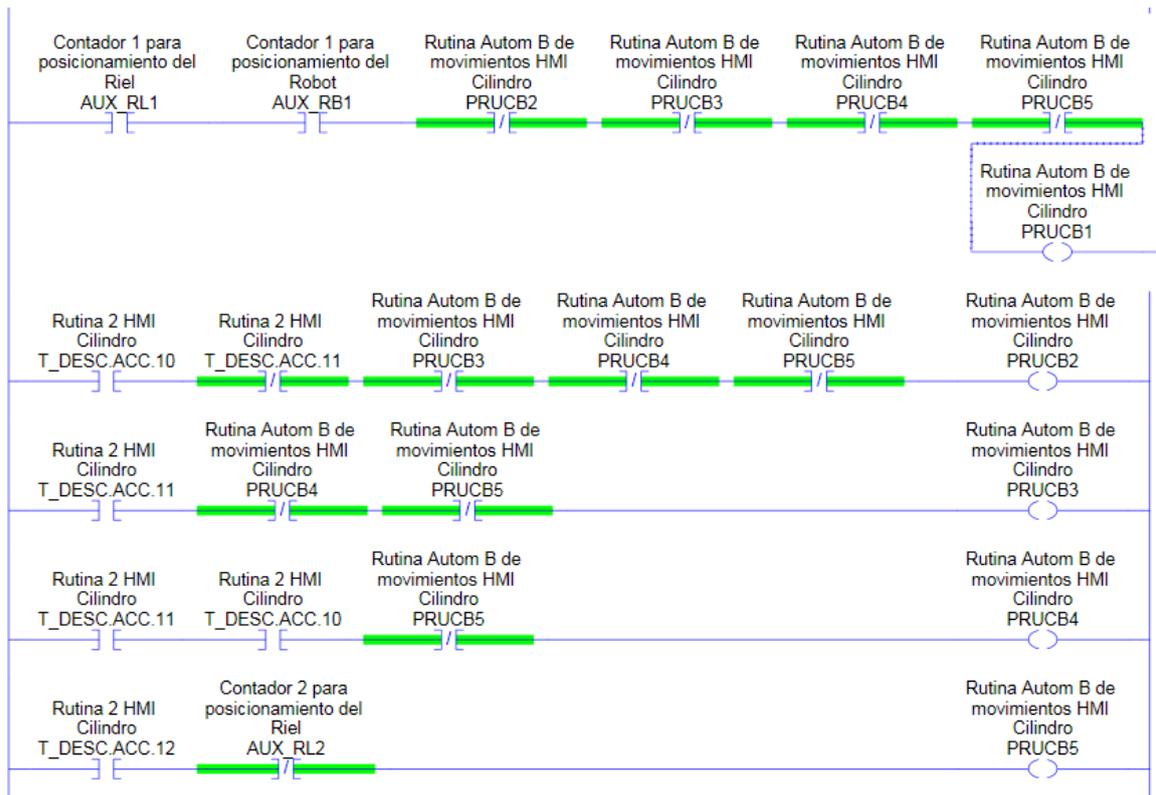


Figura. 5.50. Bobinas para segunda animación de la HMI

La figura 5.50 muestra las bobinas PRUCB del 1 al 5 son bobinas que se activan según las sentencias asignadas y son utilizadas para simular los movimientos del riel desde la posición 1 (frente al vagón) hasta la posición 3 (frente al torno) en la HMI. Cada bobina activa la visualización de una imagen en la HMI simulando movimiento. Además tienen restricciones para que no se activen con otras combinaciones de bits del temporizador.

PRUCB1 se activa el contador del riel en 1 y el contador del robot en 1 cuando aún no se ha cumplido el primer segundo del temporizador (contactores normalmente cerrados).

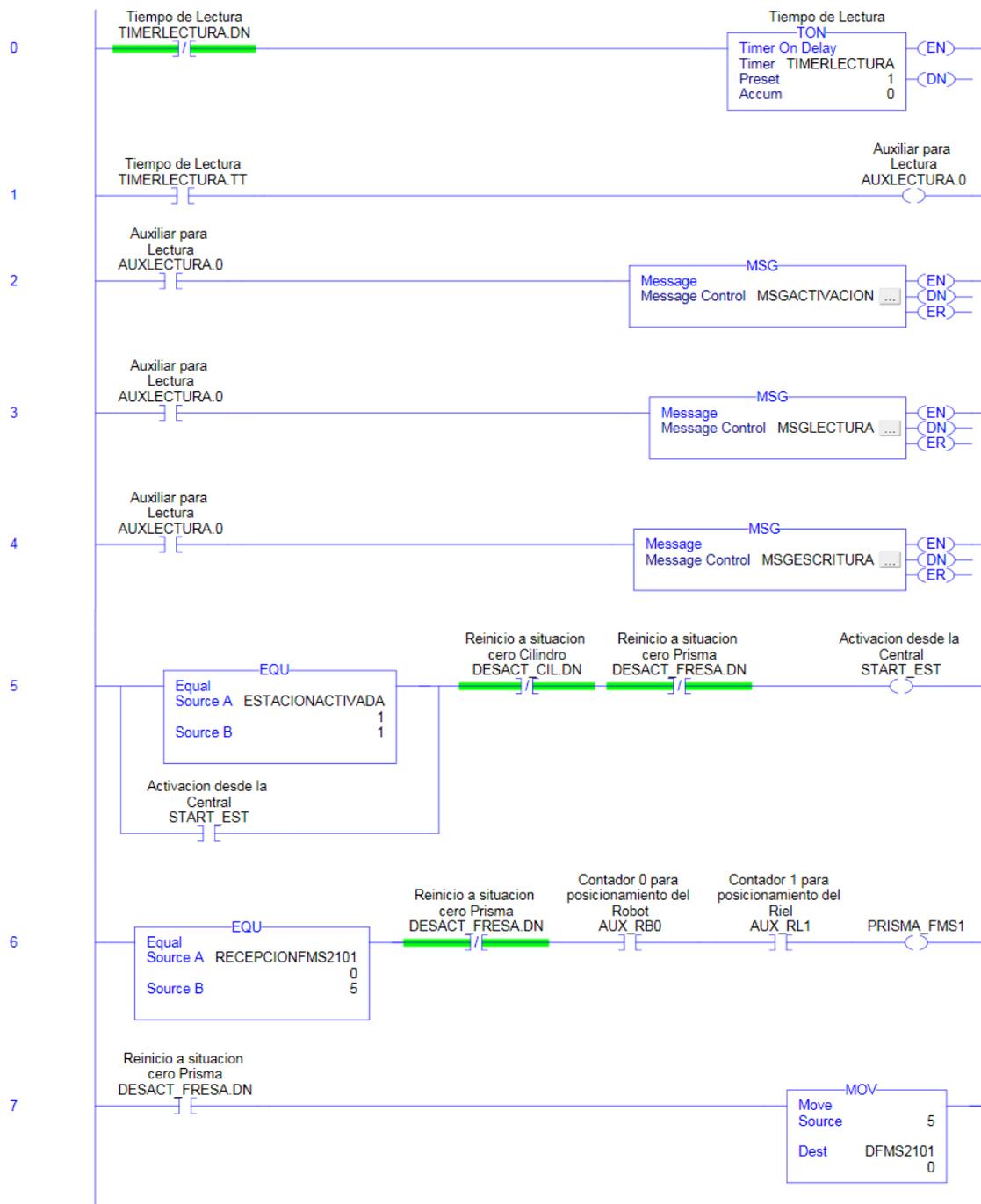
PRUCB2 se activa durante el primer segundo del temporizador, activado por T_DESC.ACC.10 (abierto) y T_DESC.ACC.11 (cerrado) que son la combinación de bits para el primer segundo.

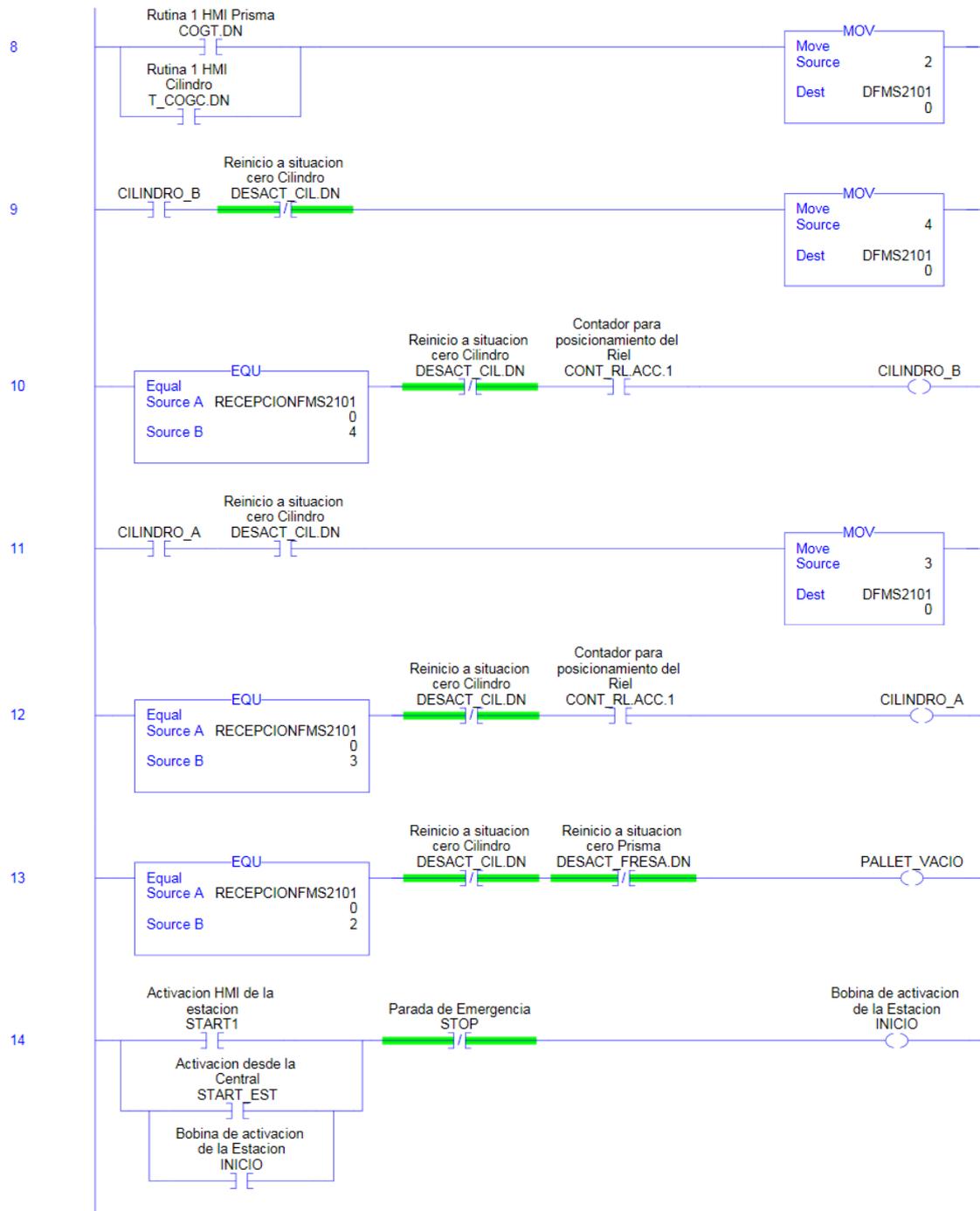
PRUCB3 se activa luego de dos segundos del temporizador, activado por T_DESC.ACC.11 (abierto) que es el bit del temporizador para los dos segundos.

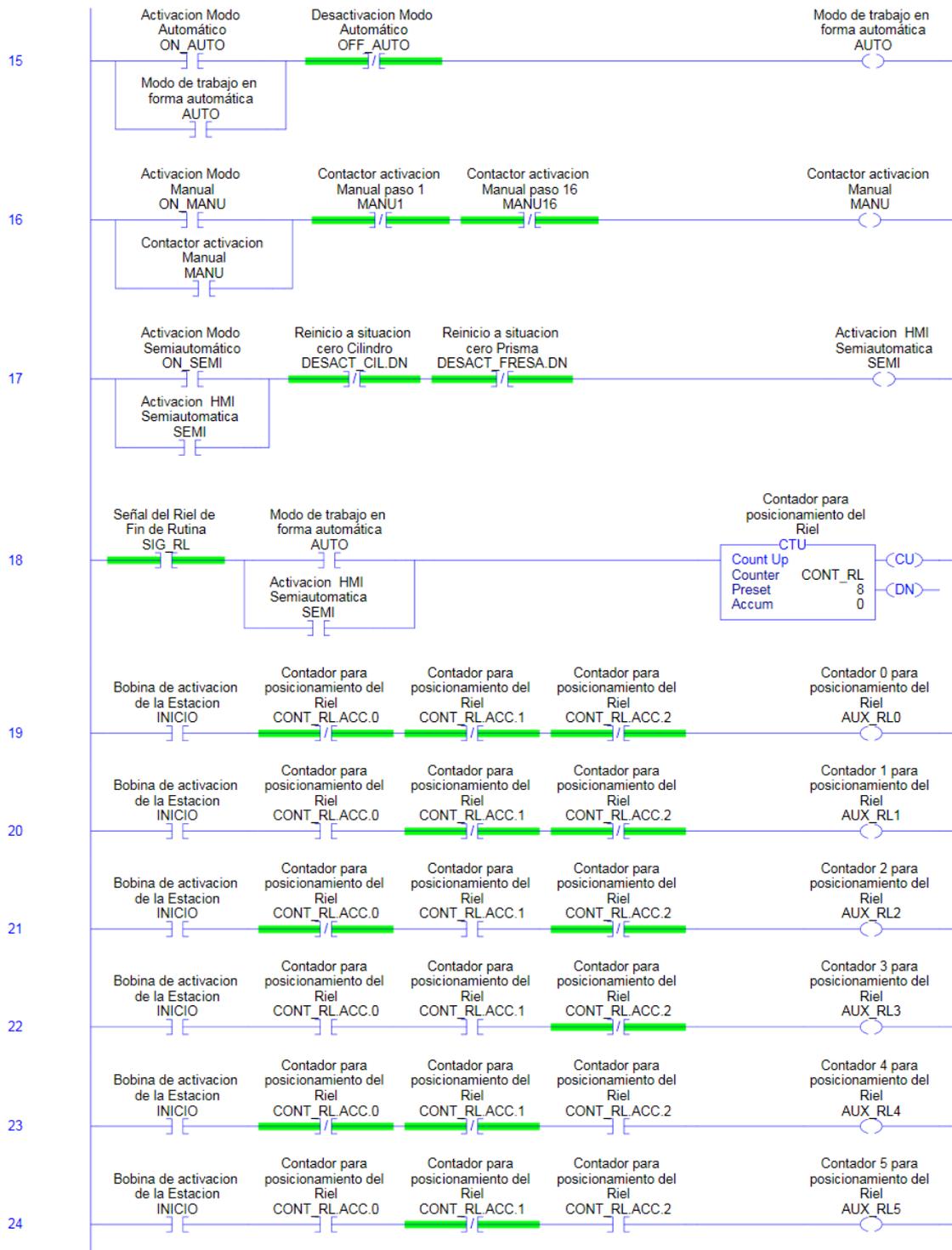
PRUCB4 se activa luego de los tres segundos del temporizador, activado por T_DESC.ACC.10 (abierto) y T_DESC.ACC.11 (abierto) que son la combinación de bits para los tres segundos.

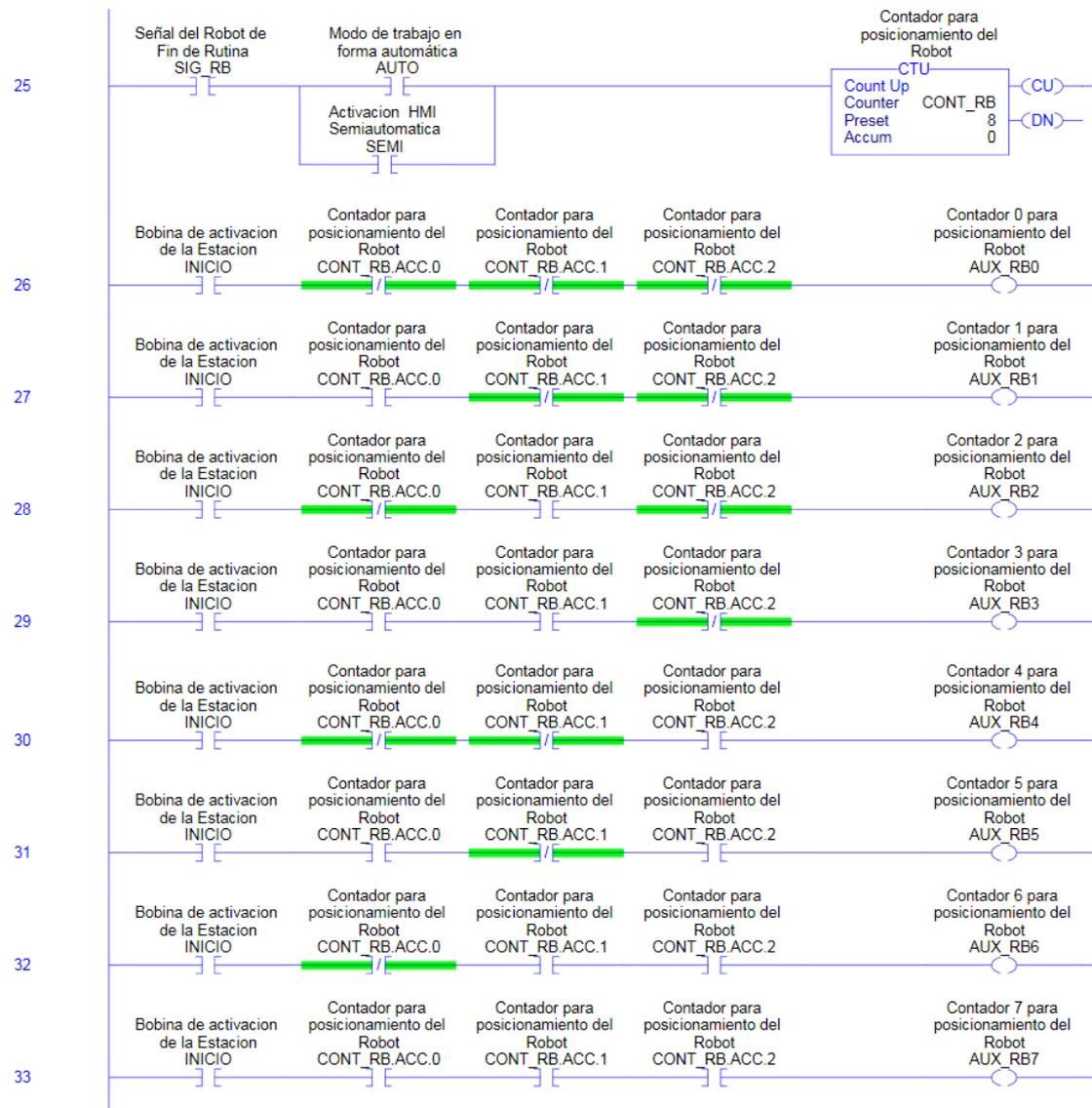
PRUCB5 se activa luego de los cuatro segundos del temporizador, activado por T_DESC.ACC.12 (abierto) que es el bit para los cuatro segundos.

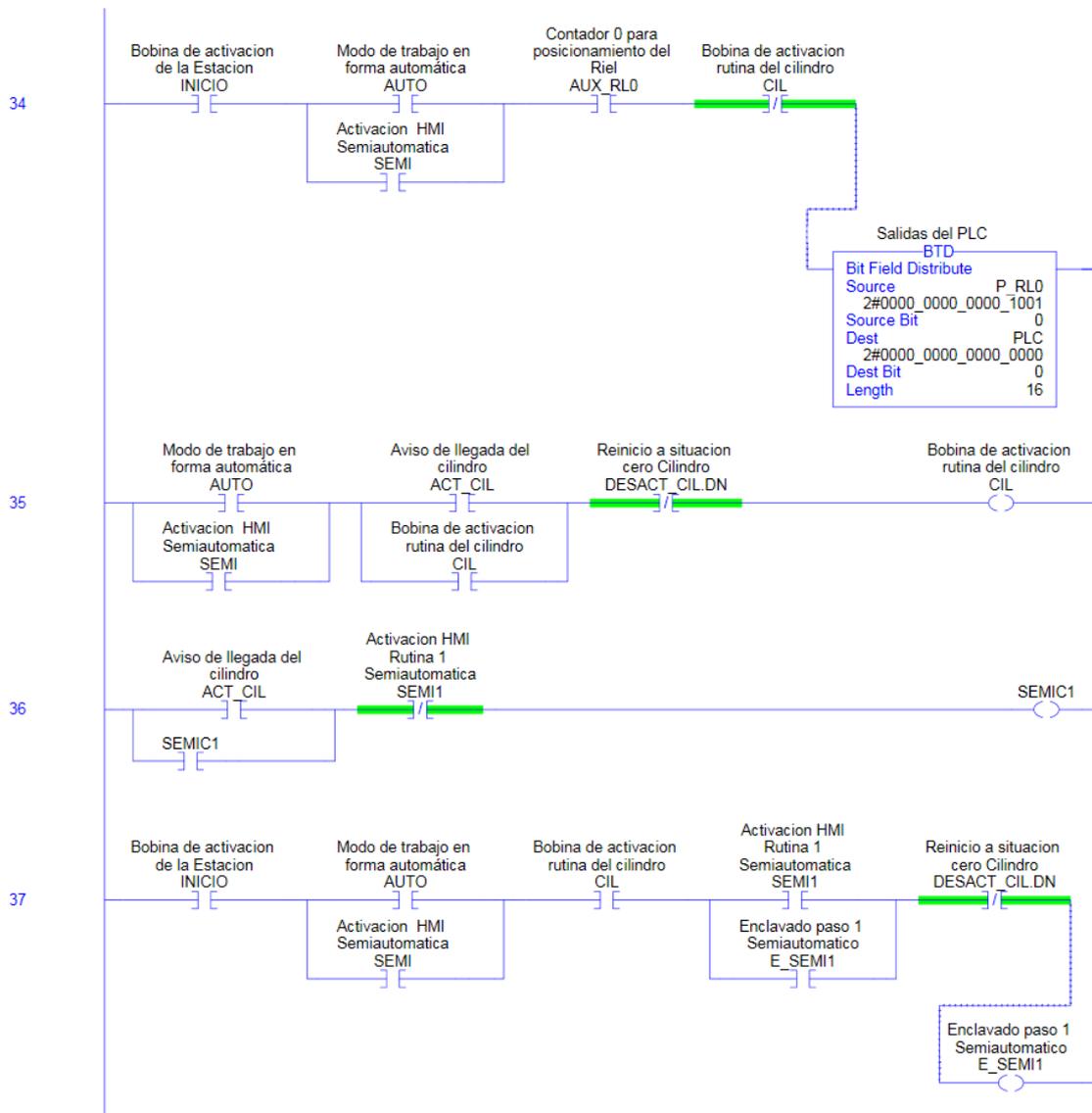
5.7 PROGRAMA RSLOGIX

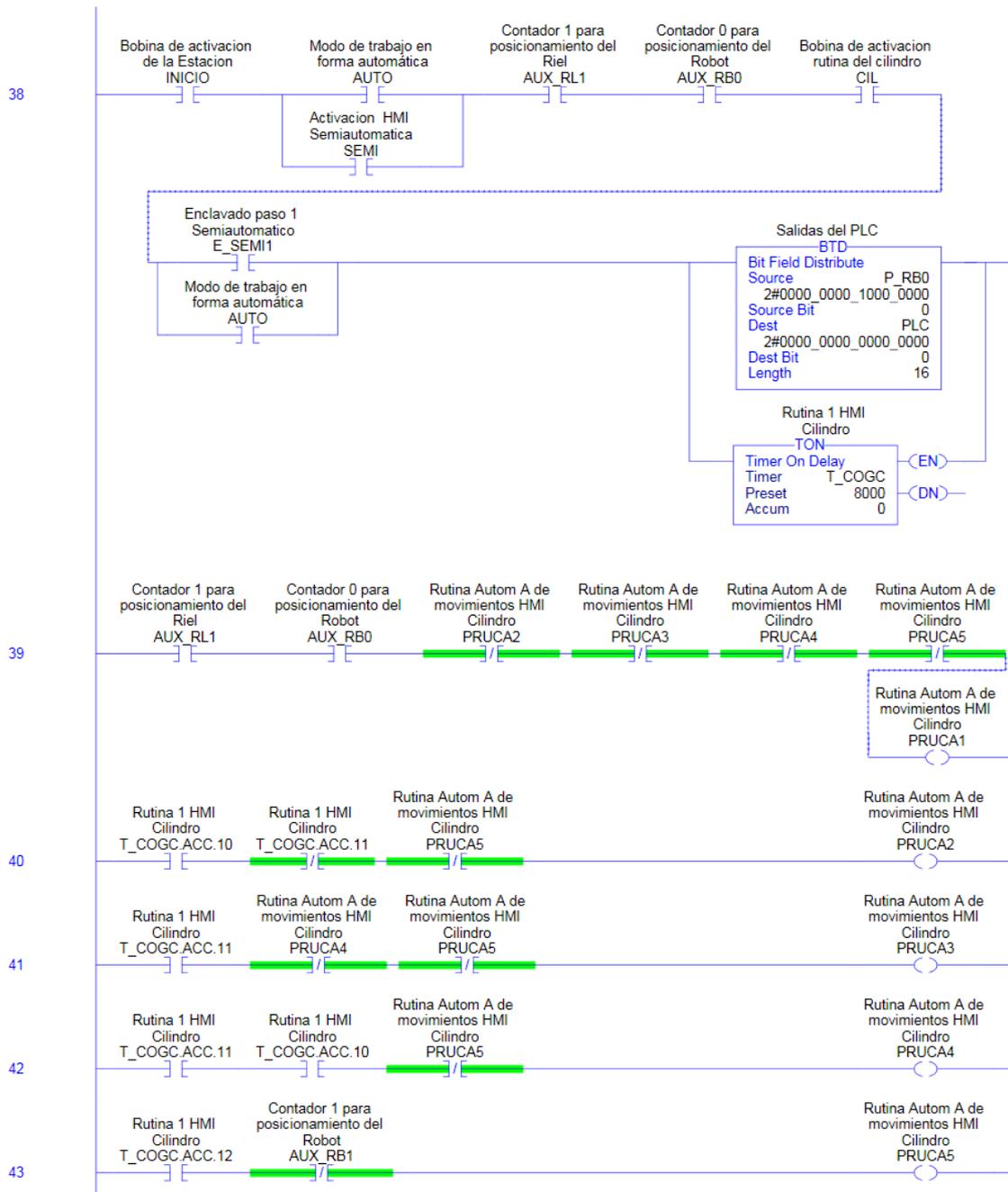


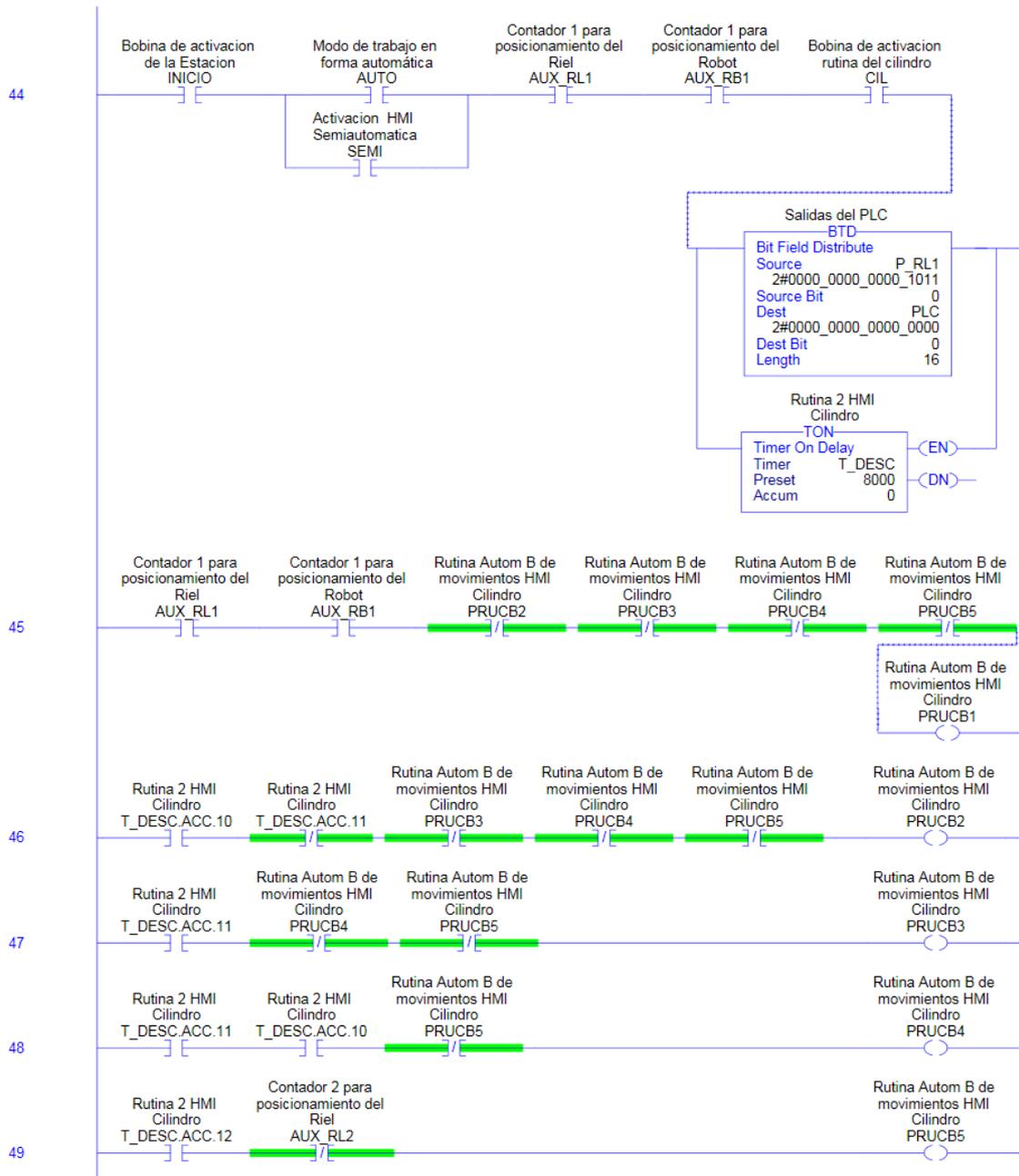


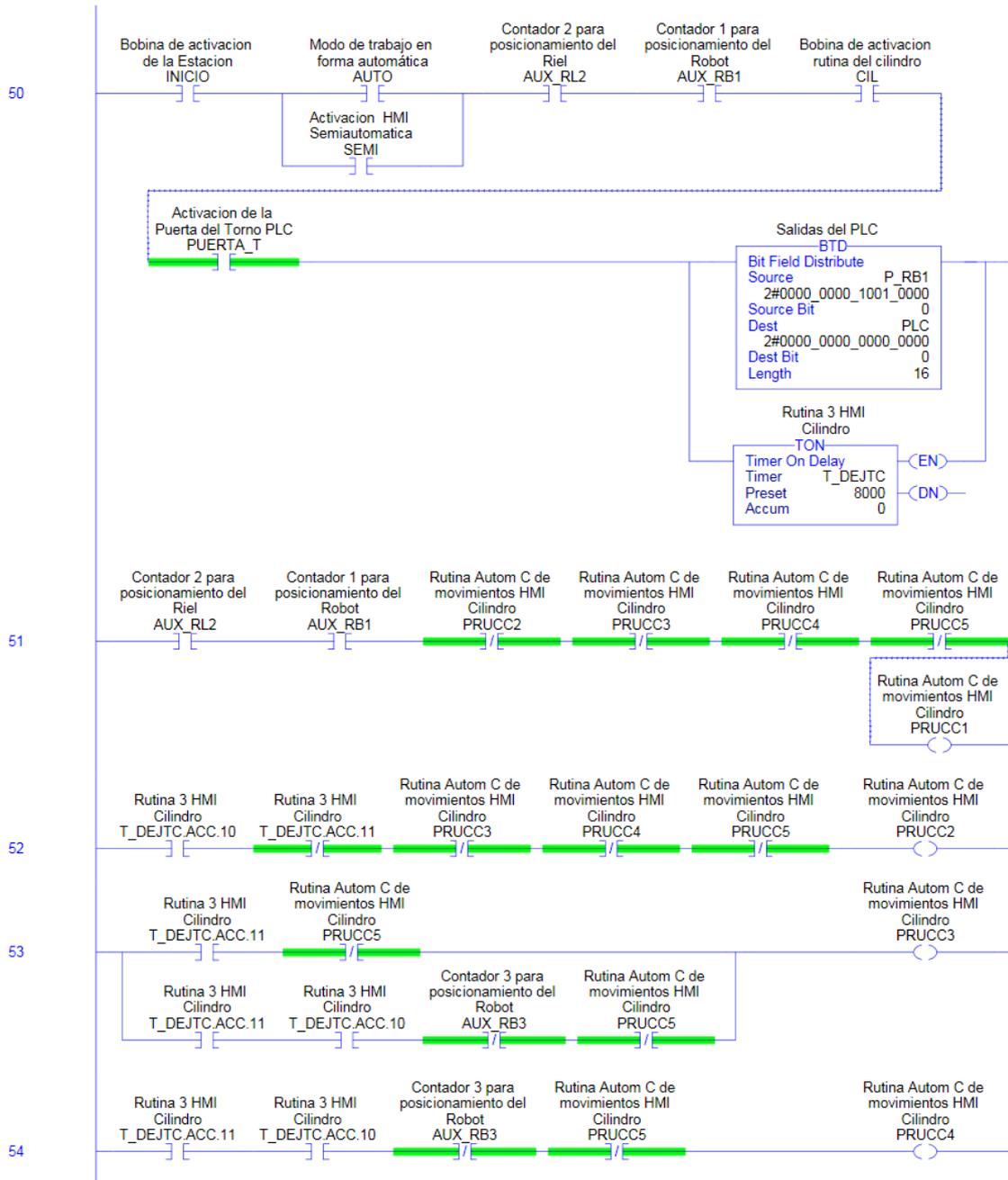


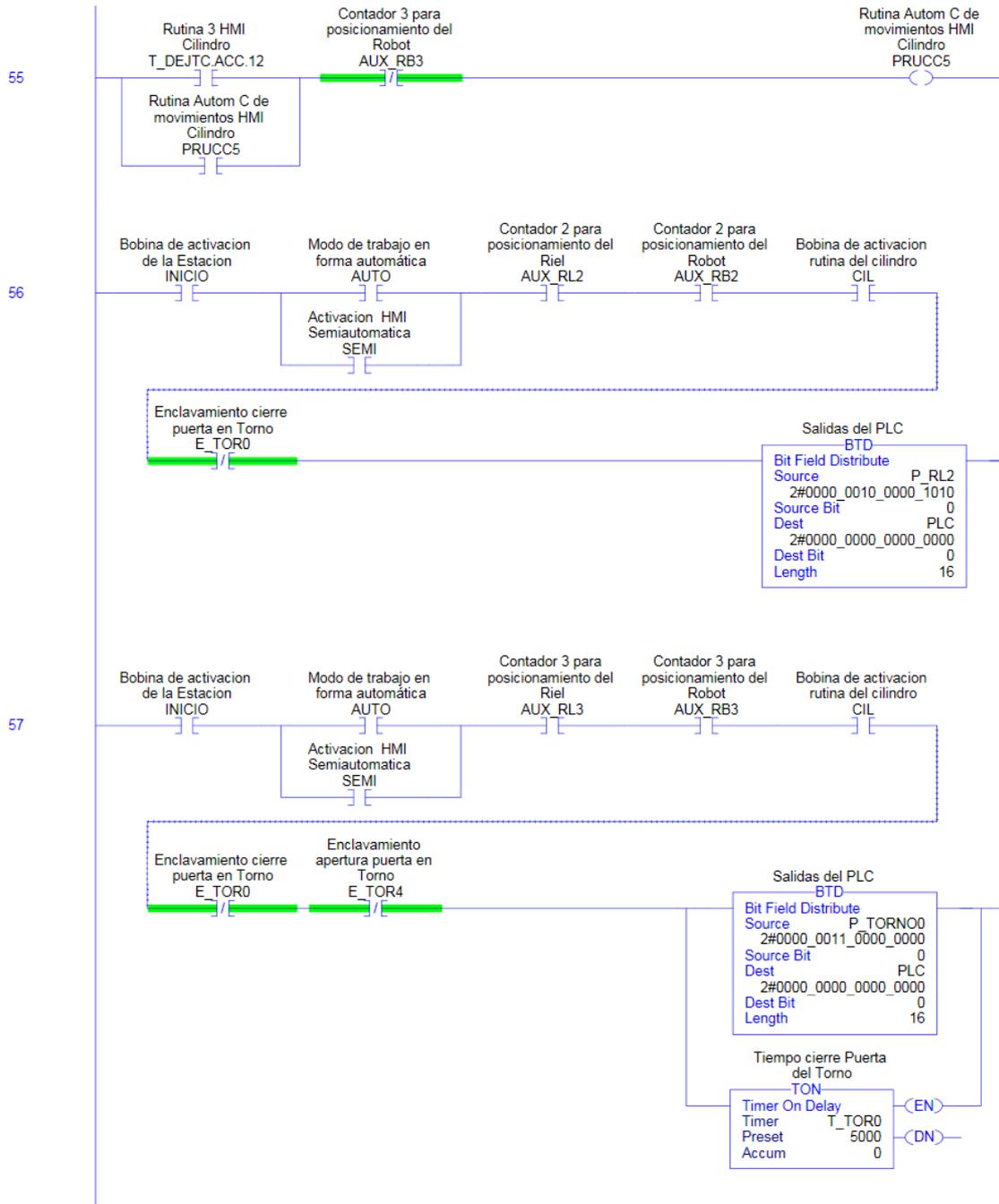


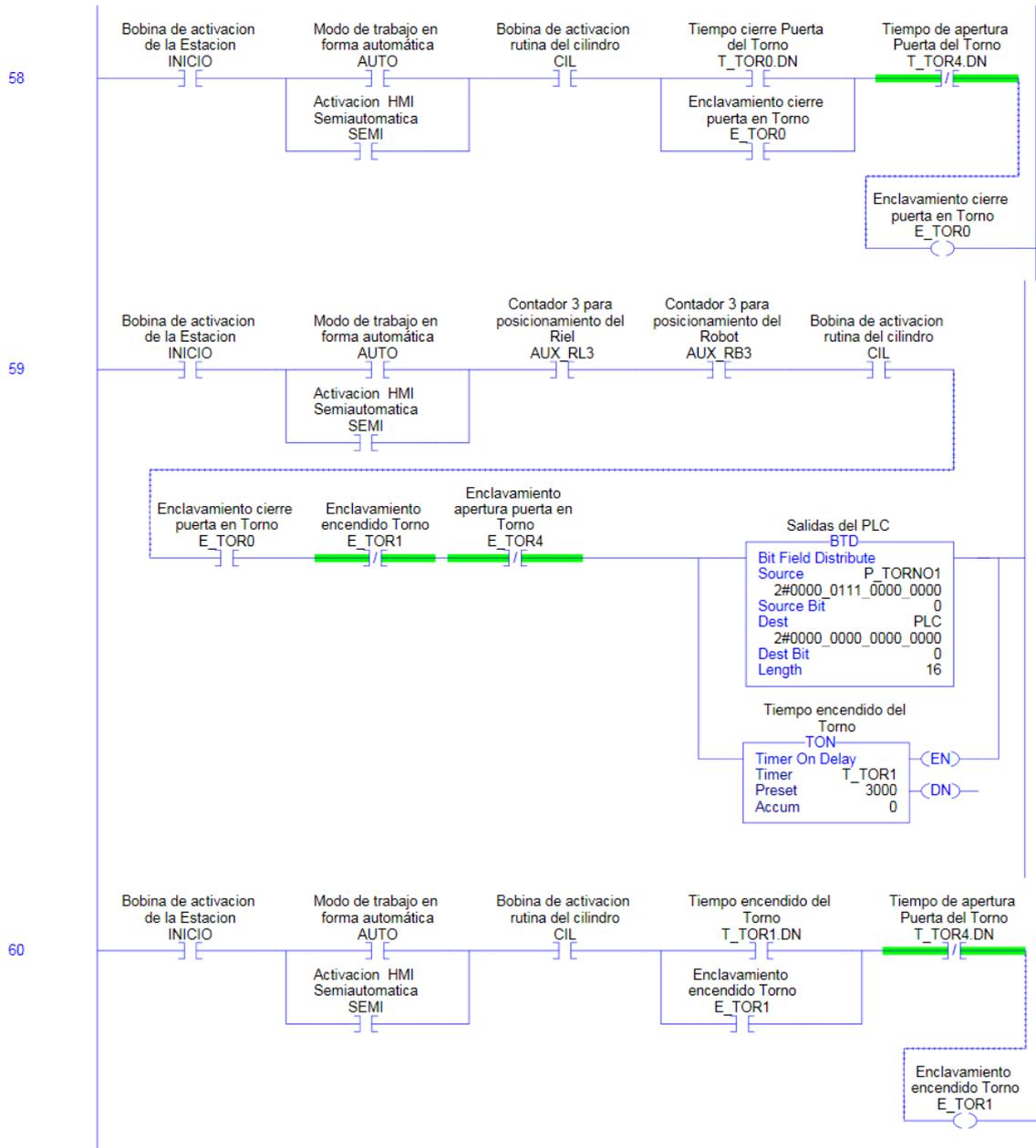


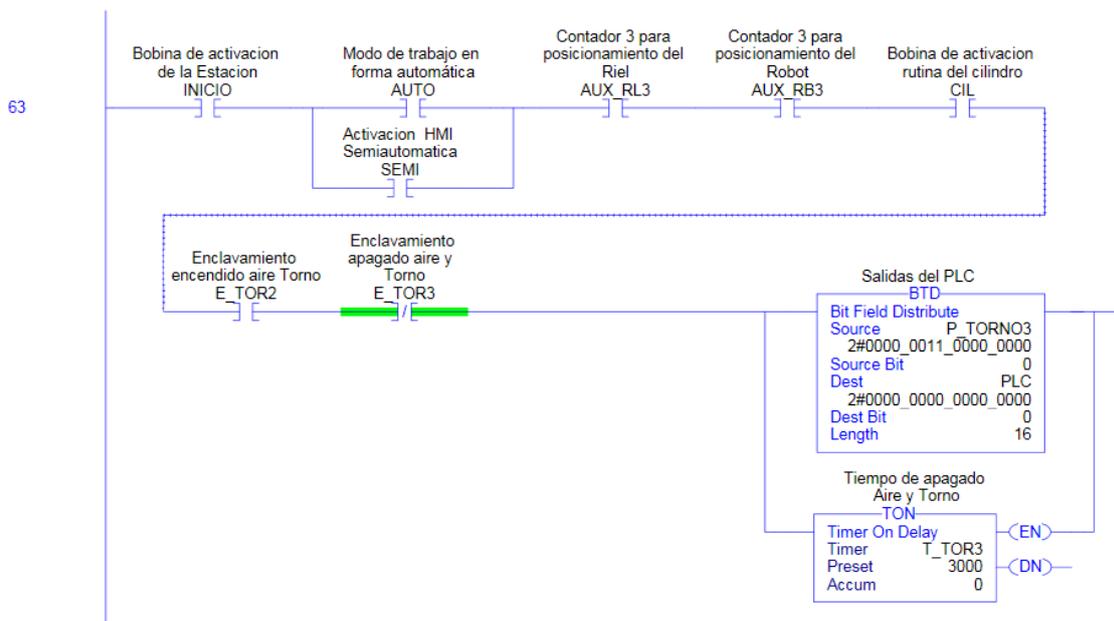
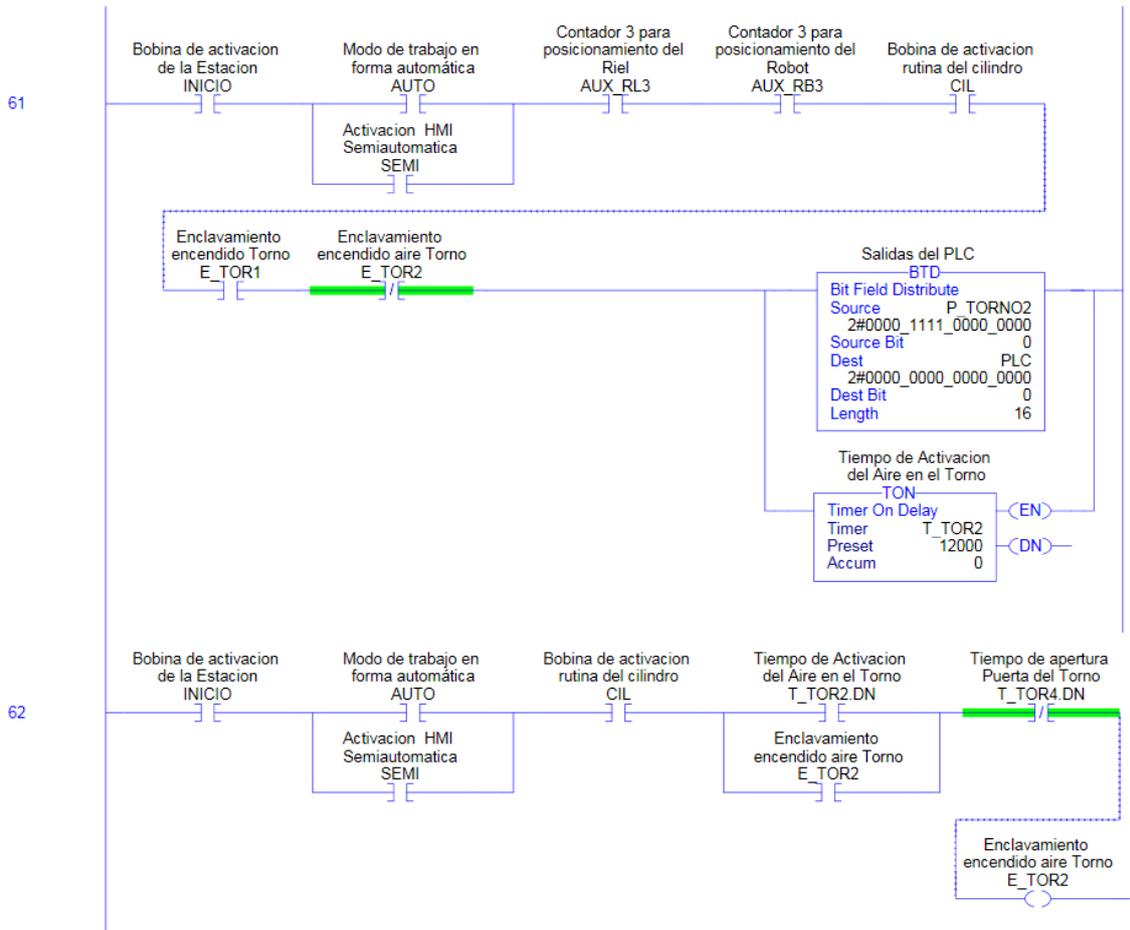


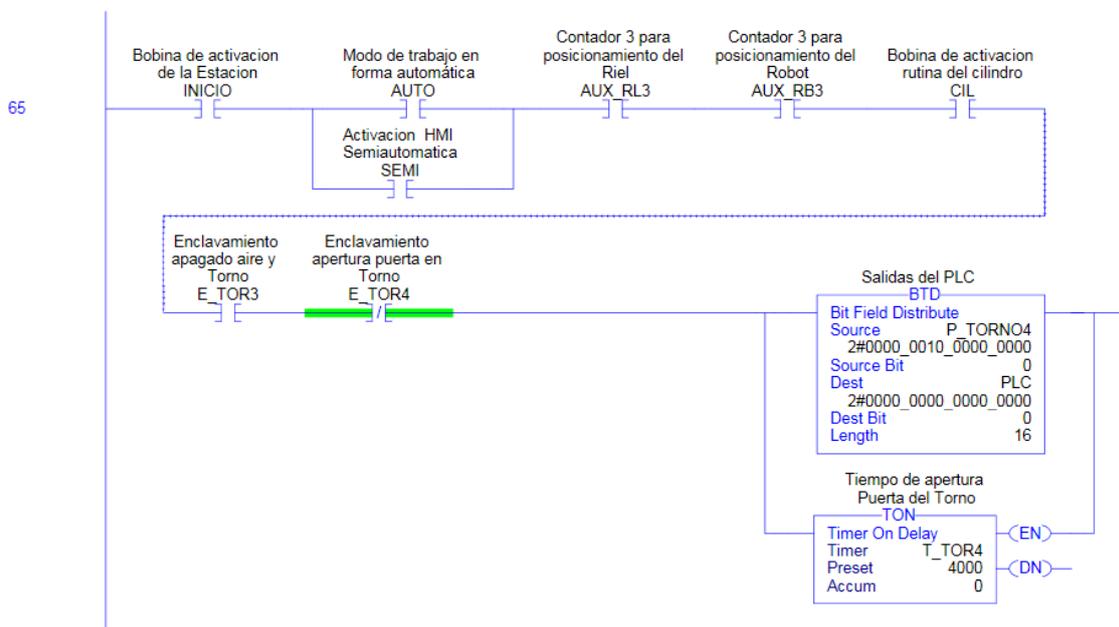
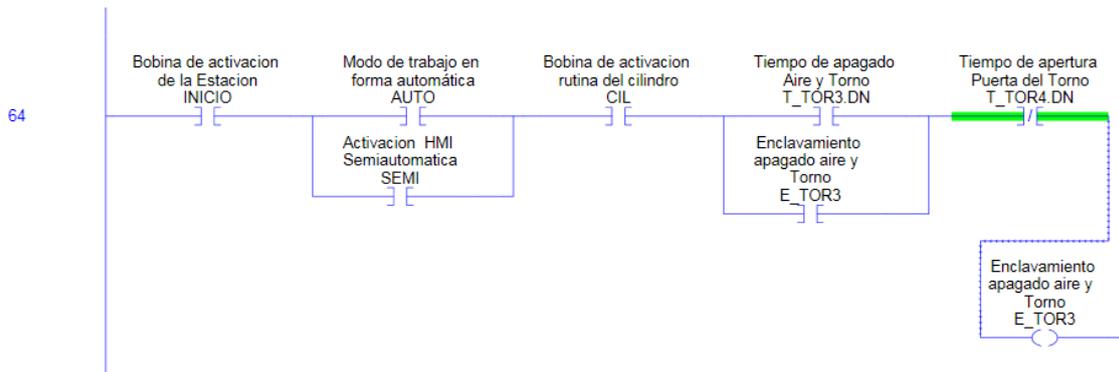


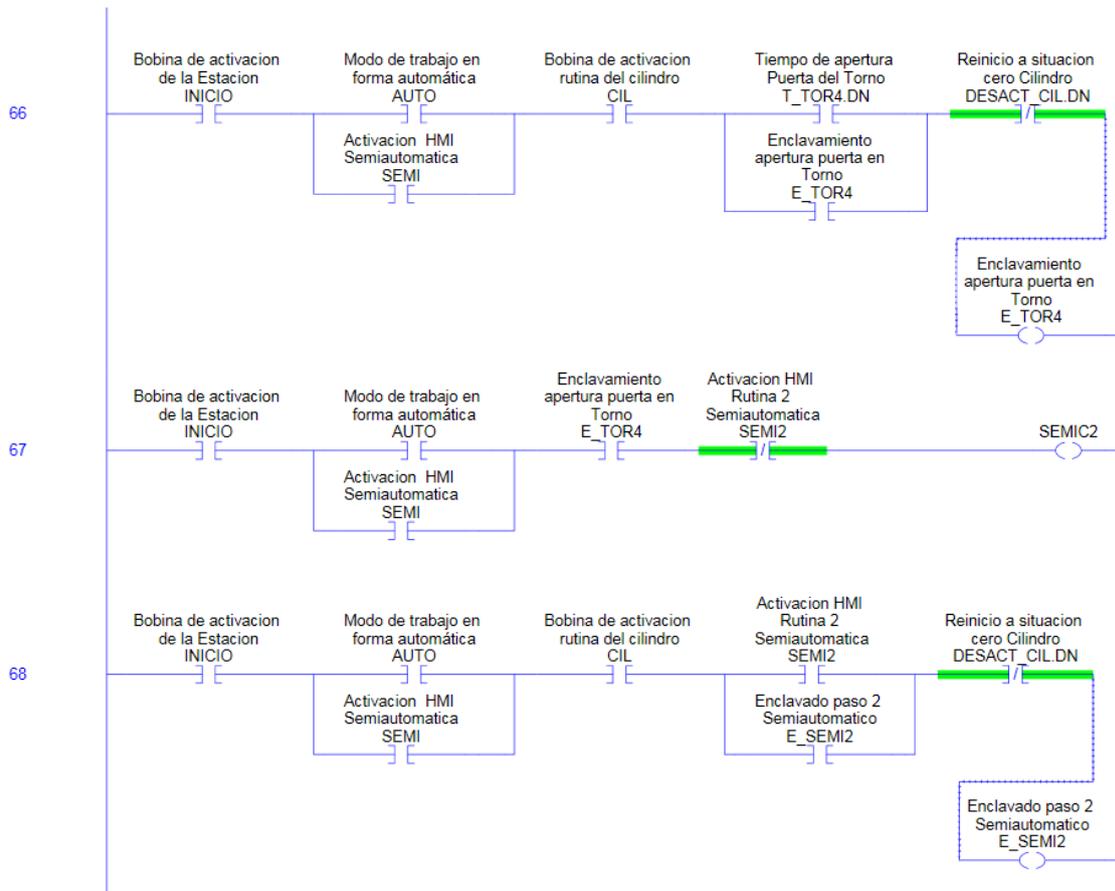


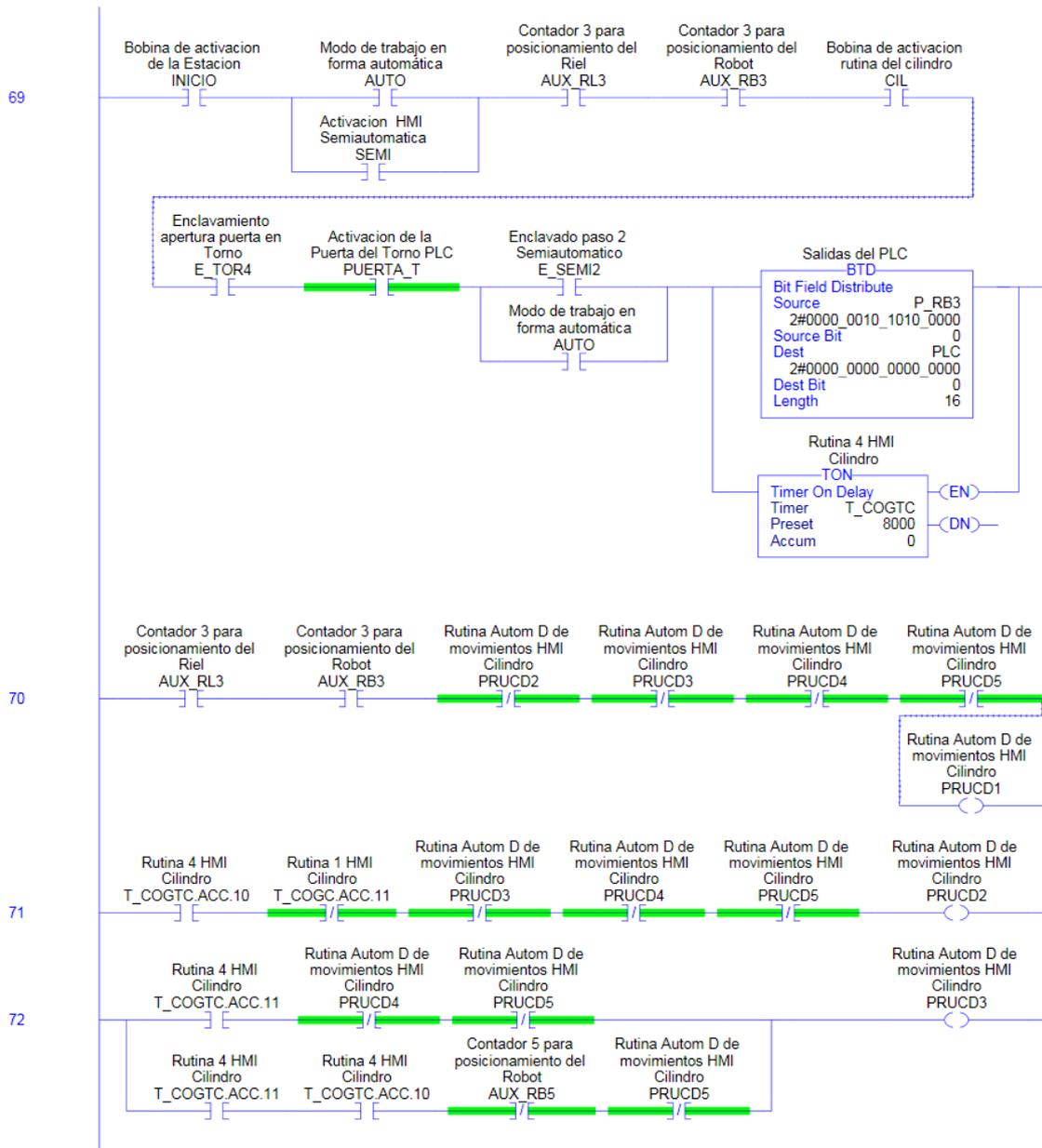


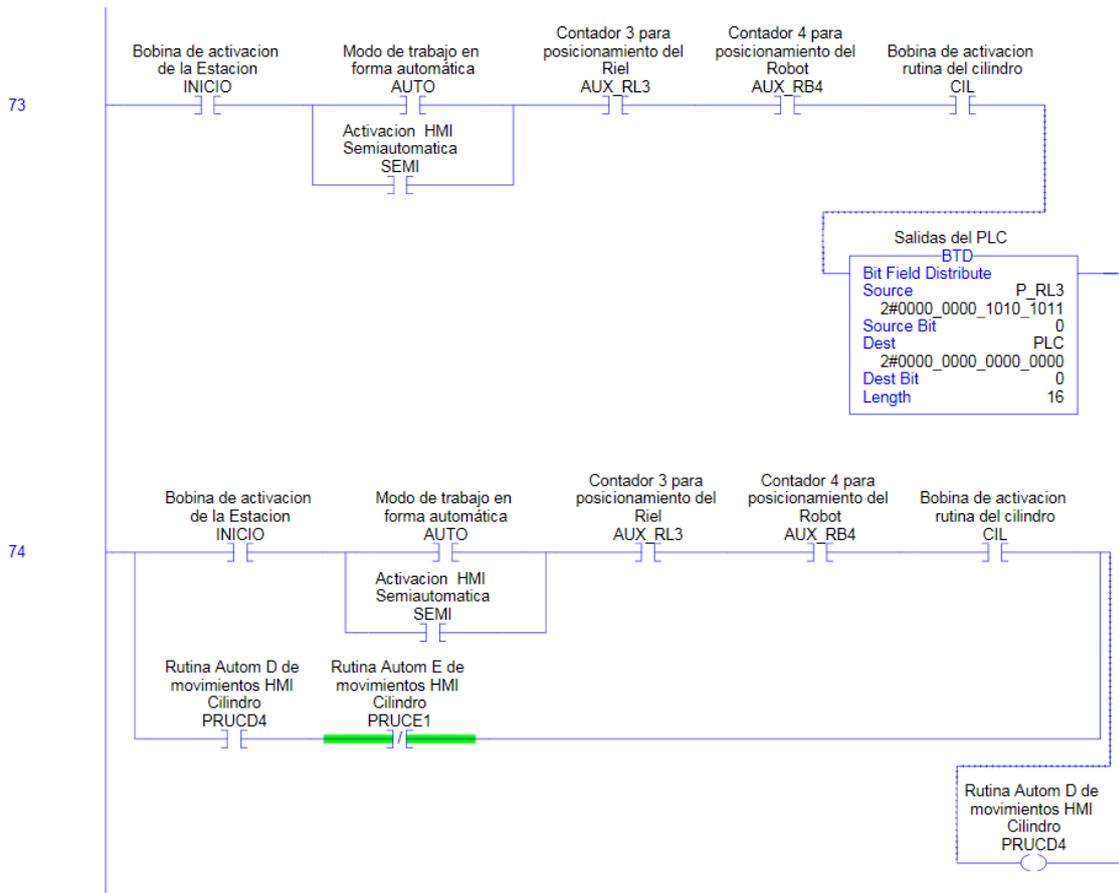


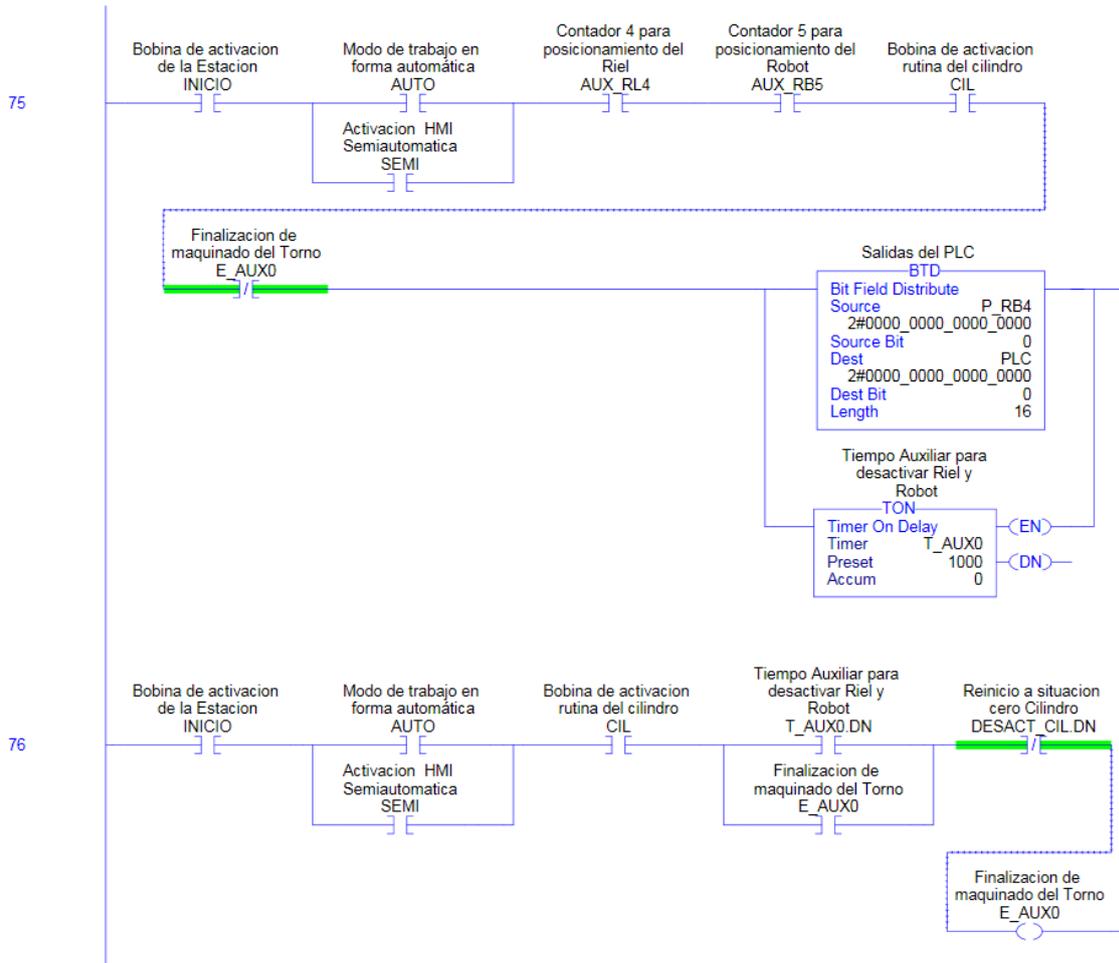


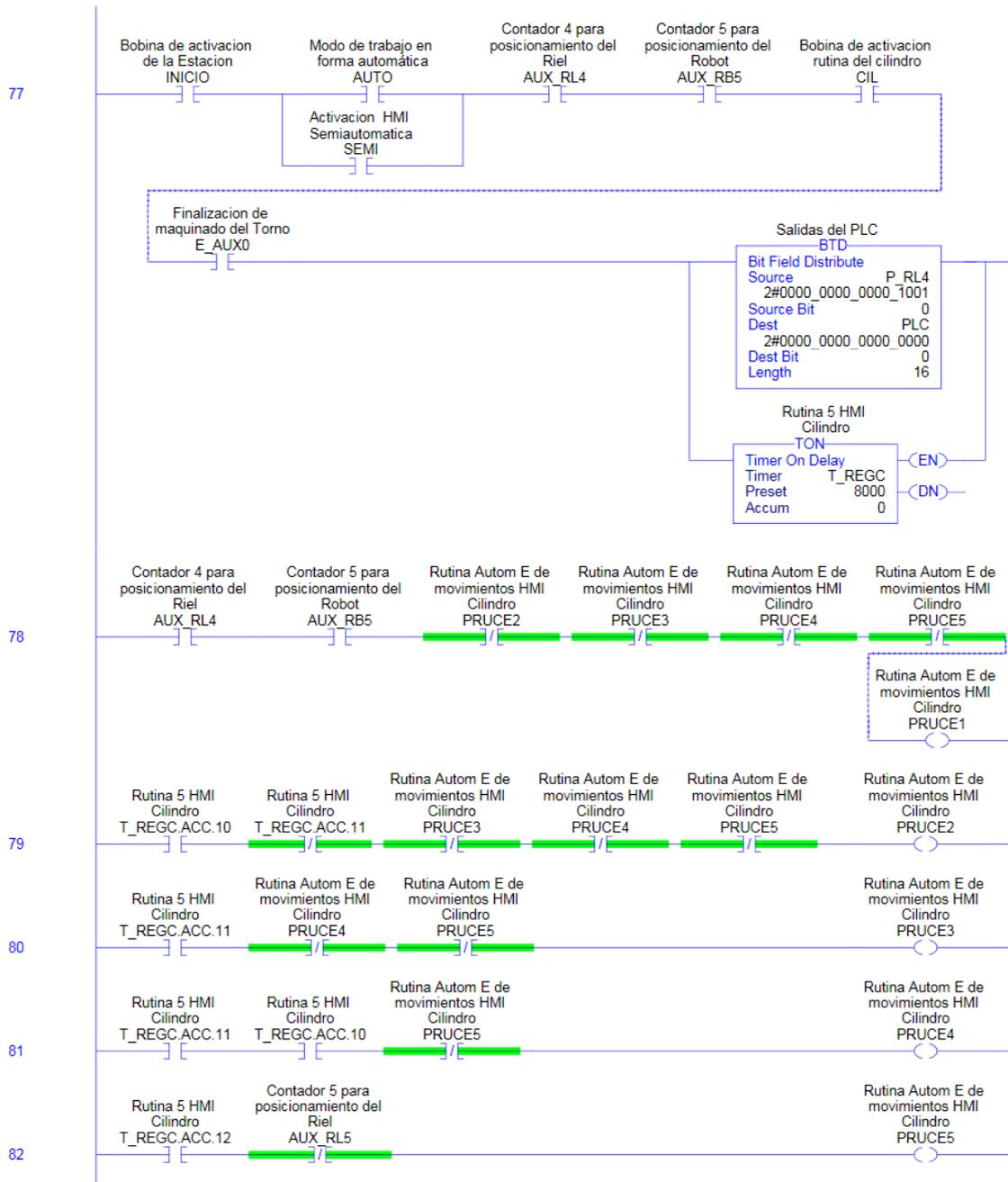


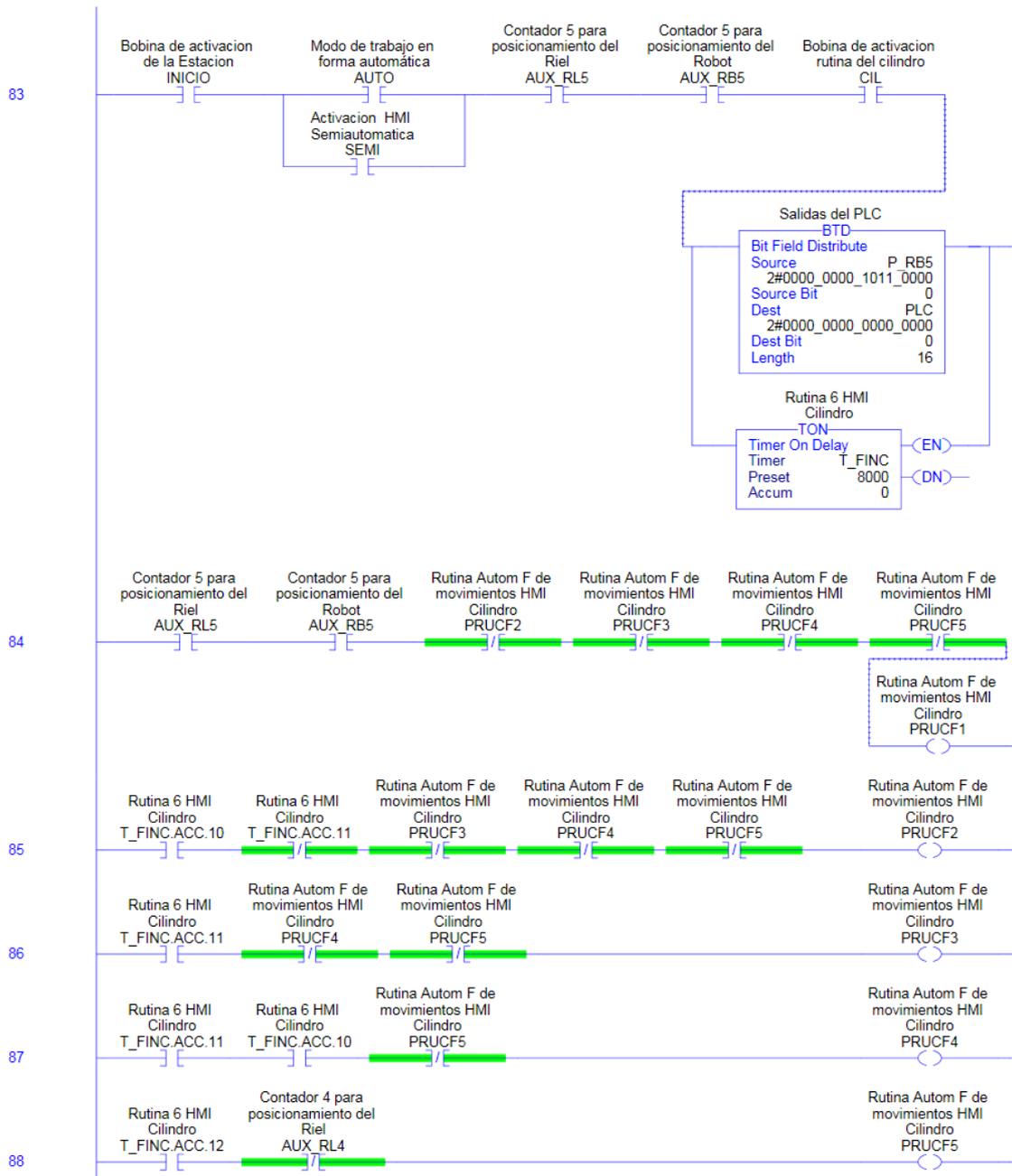


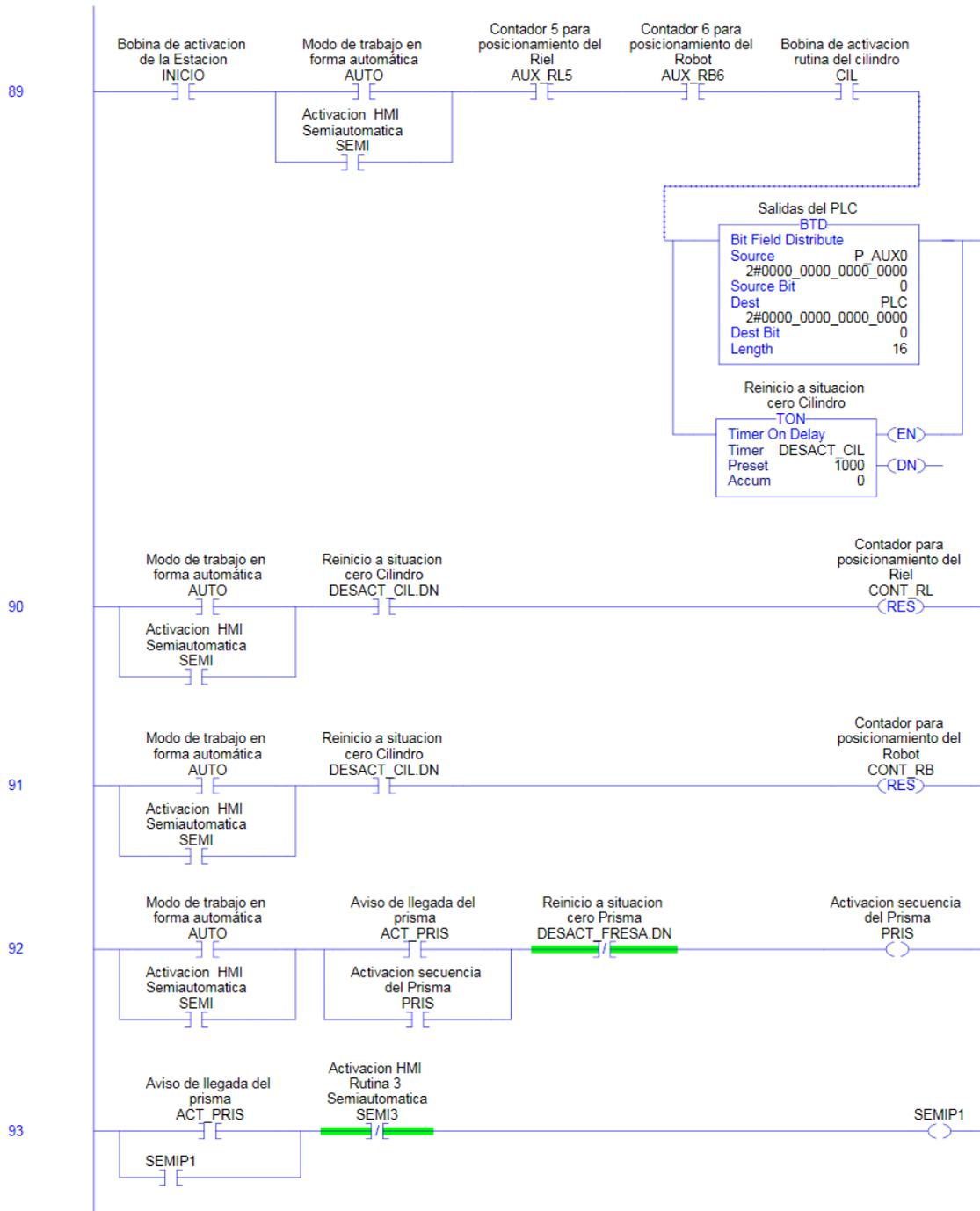


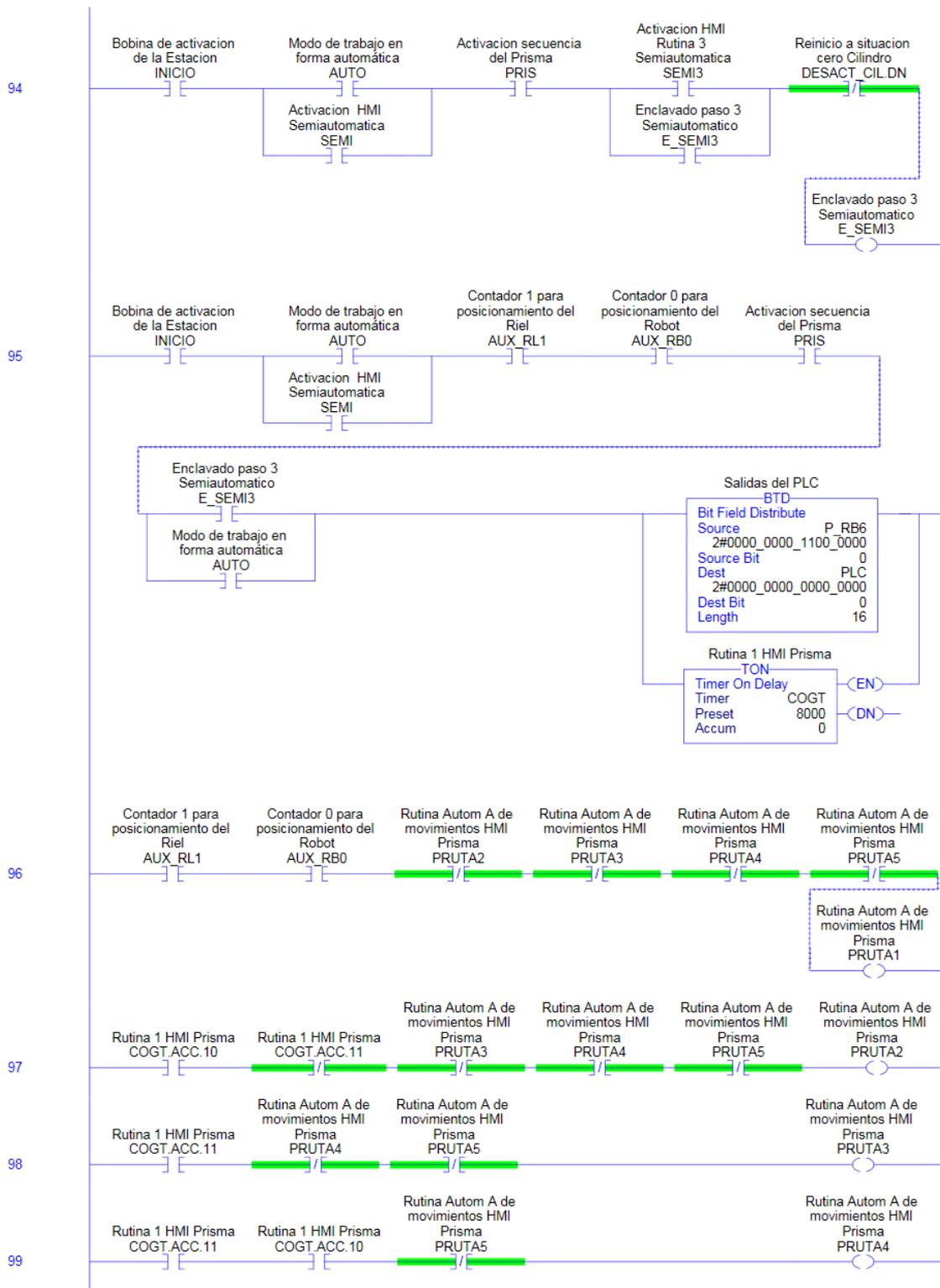


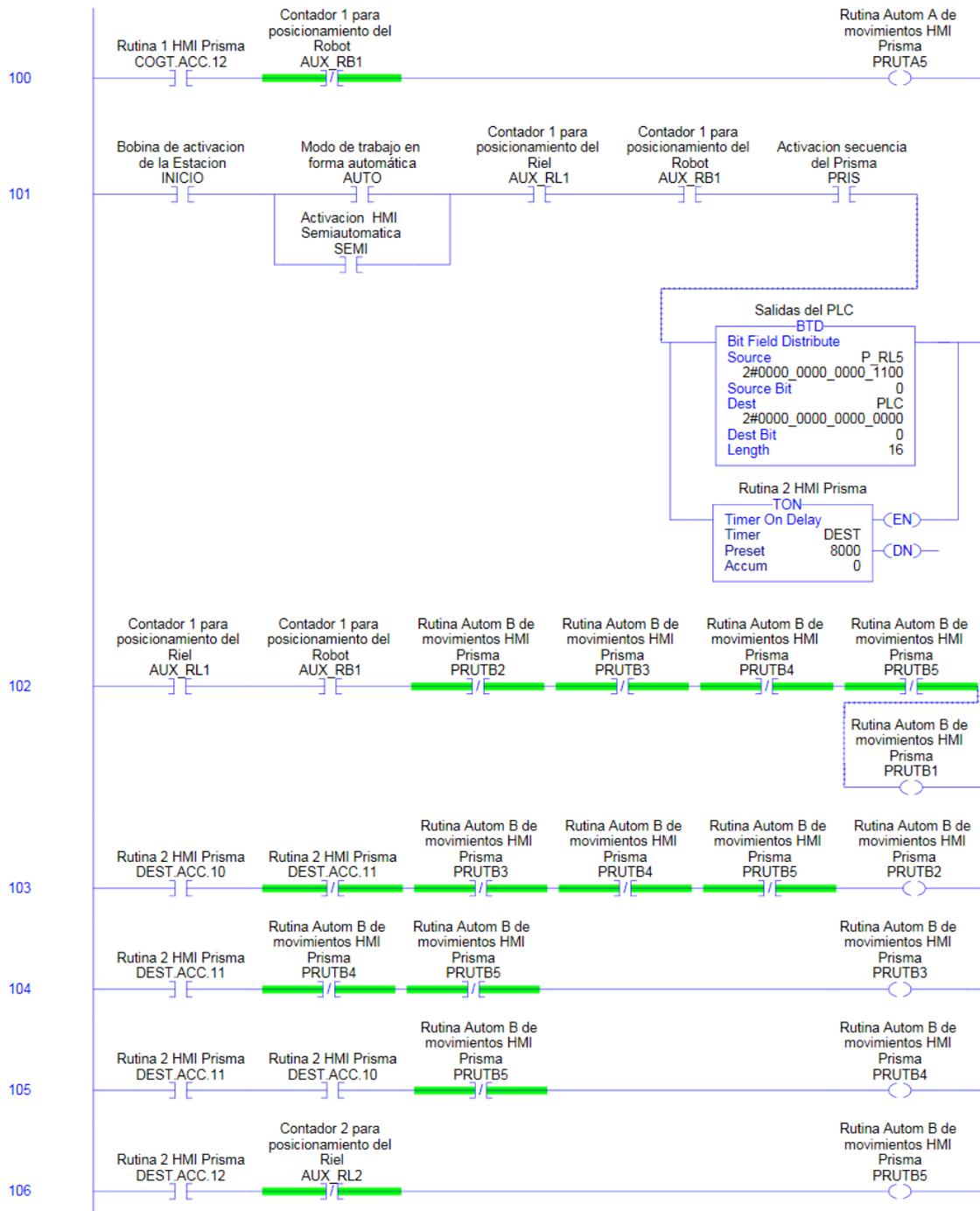


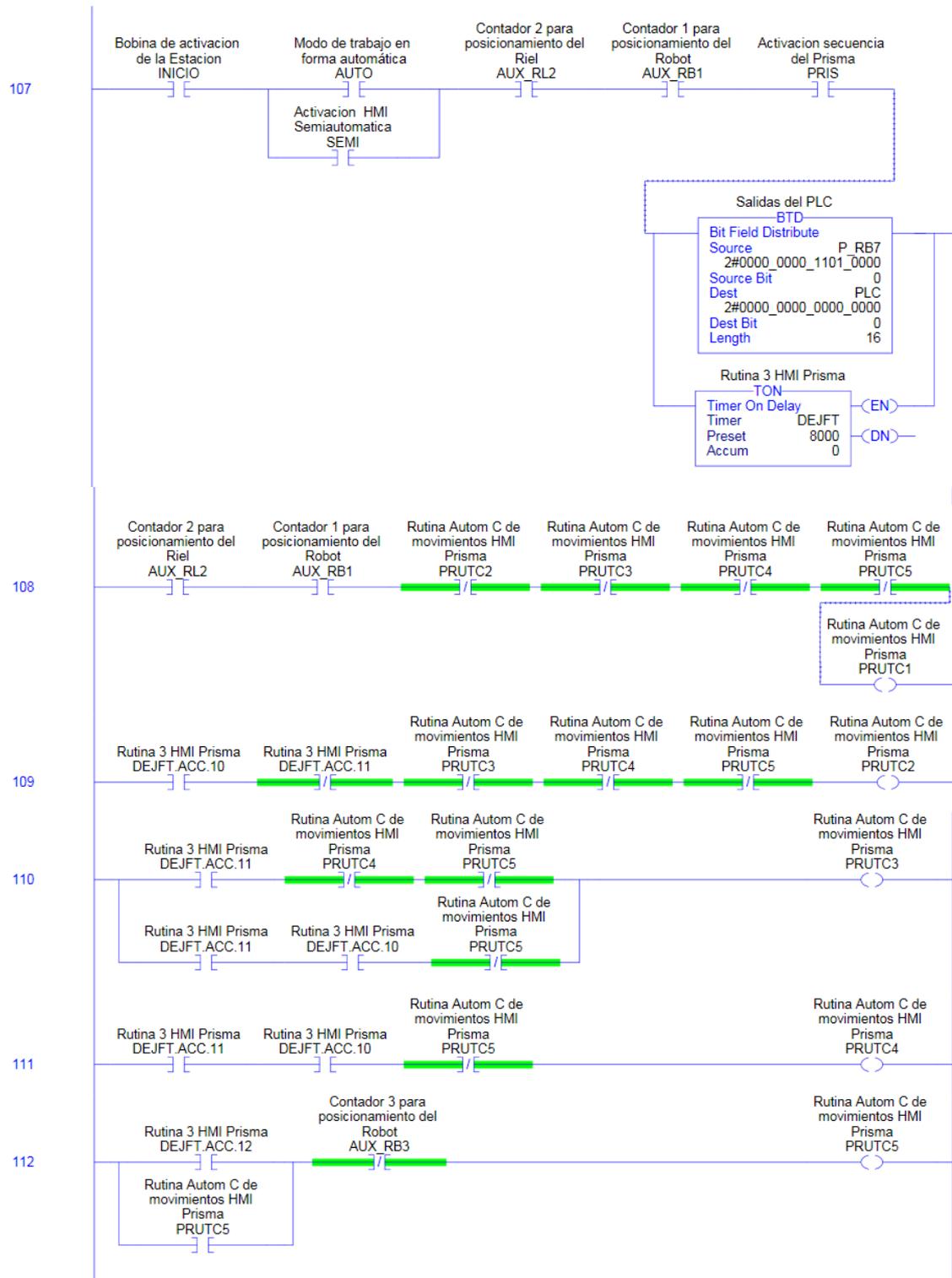


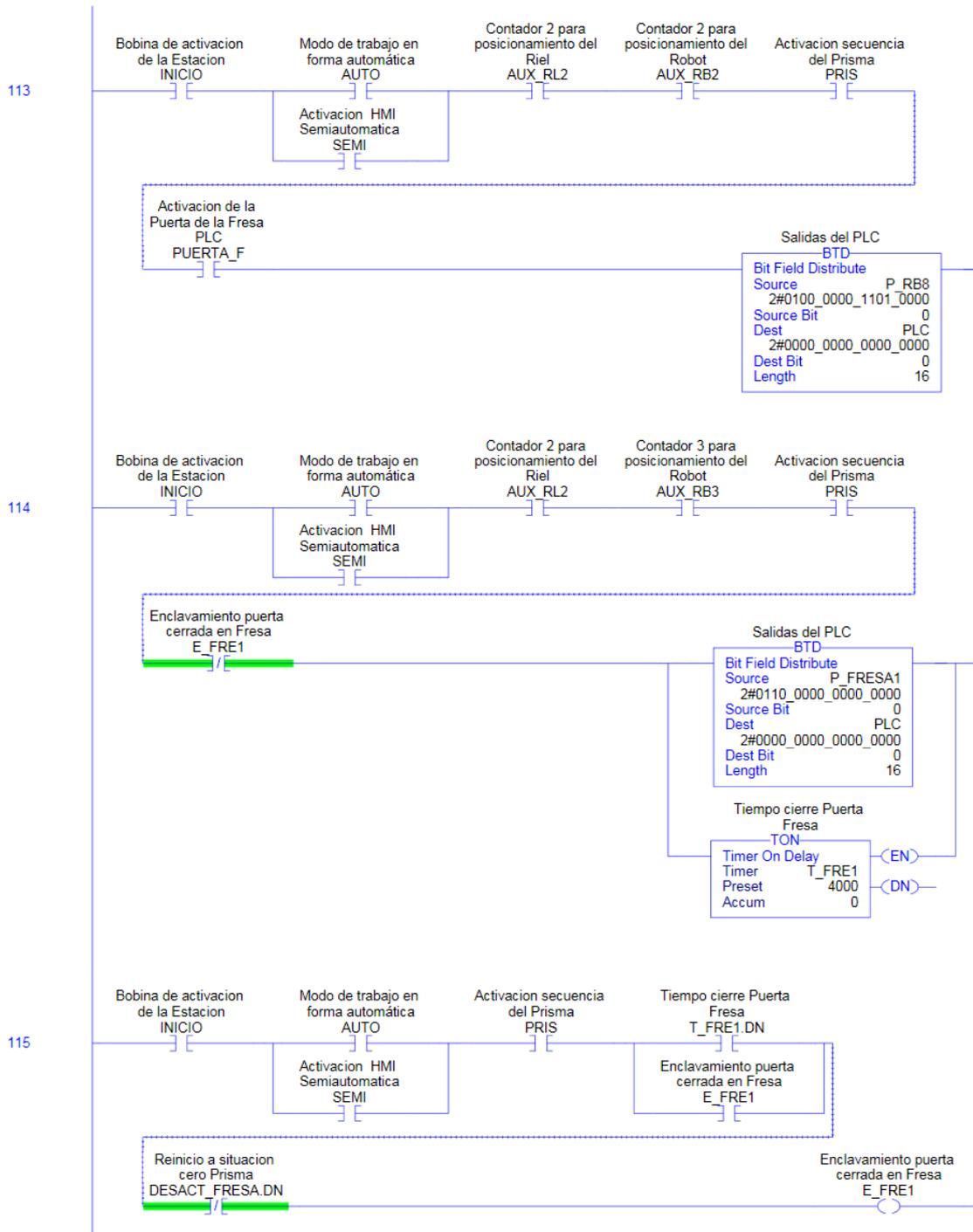


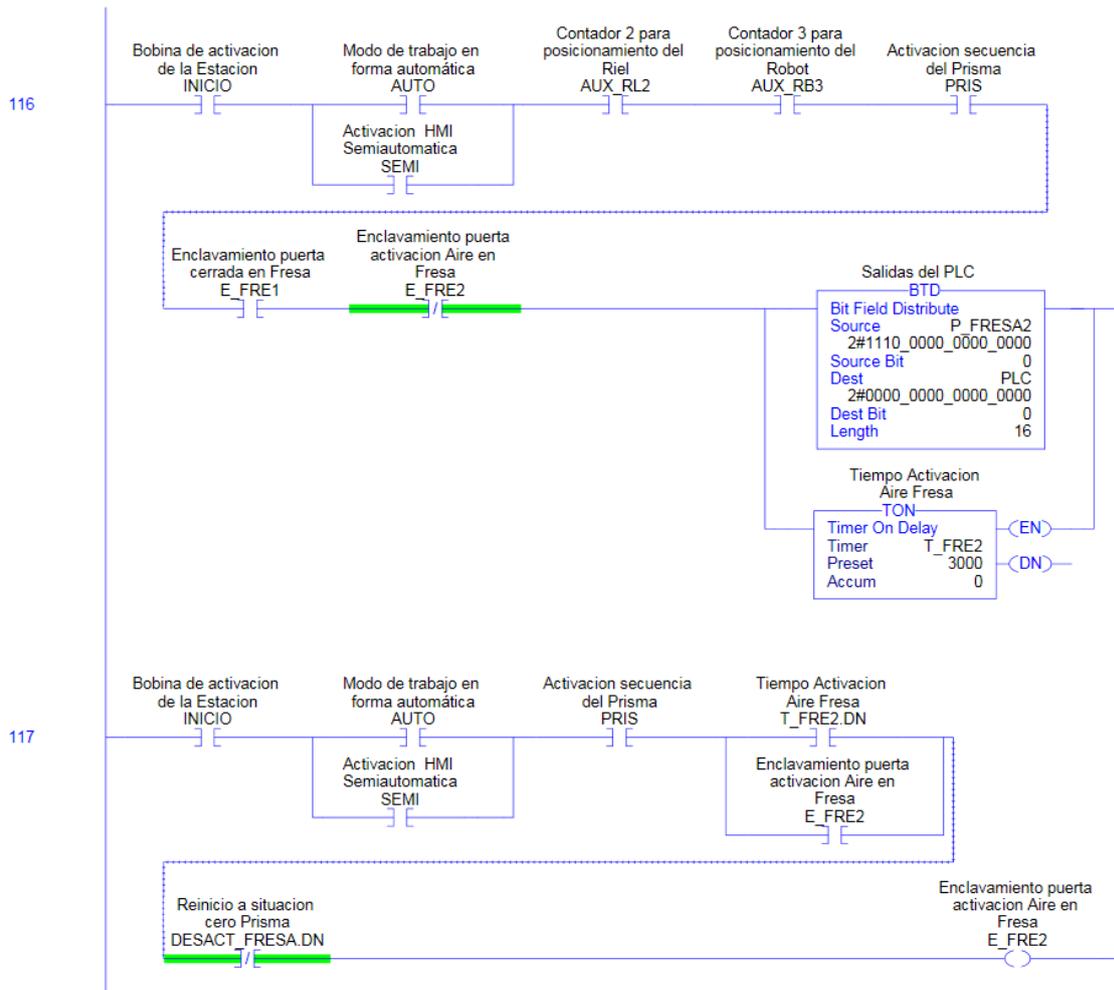


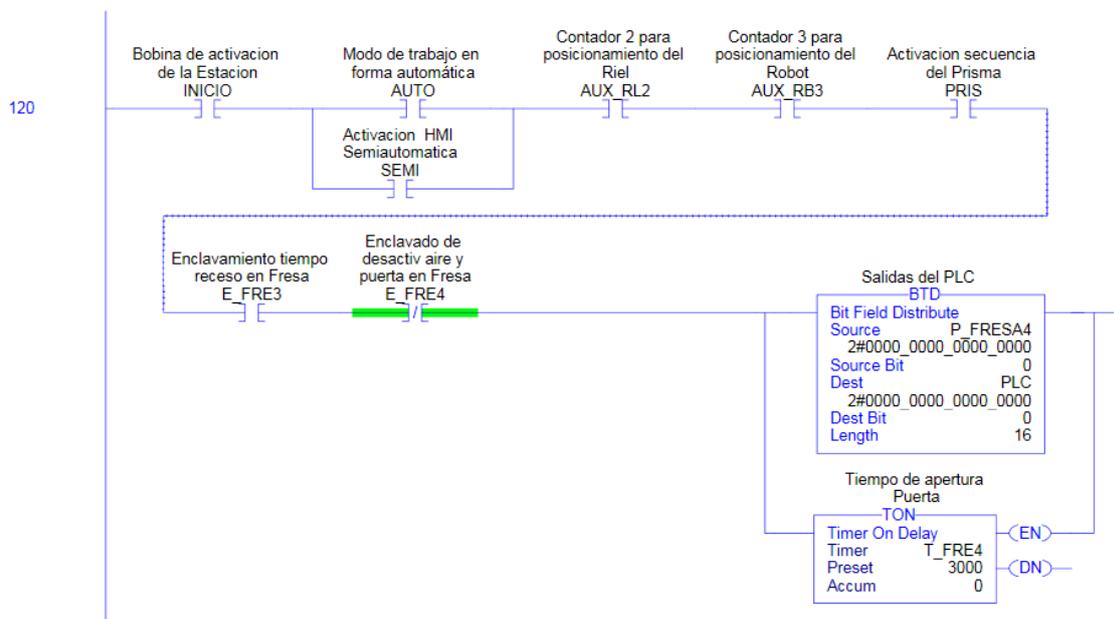
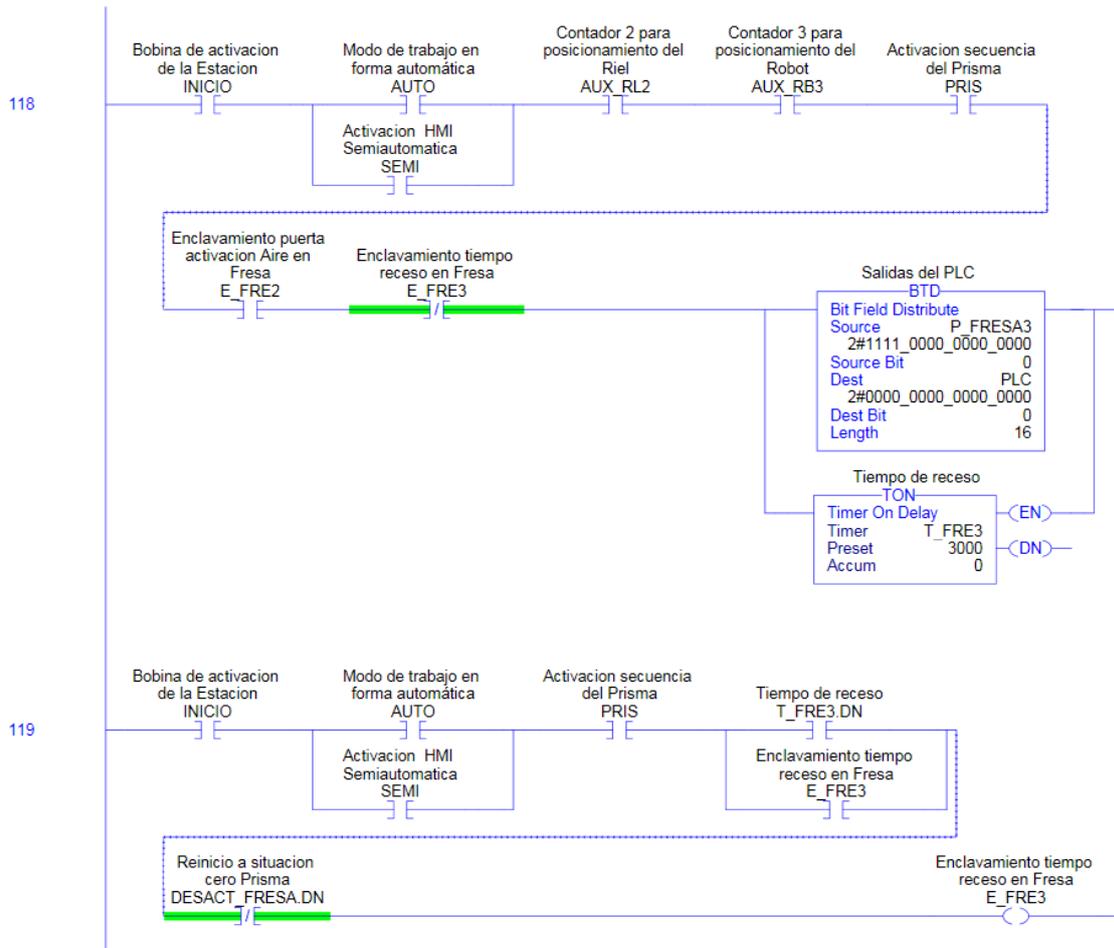


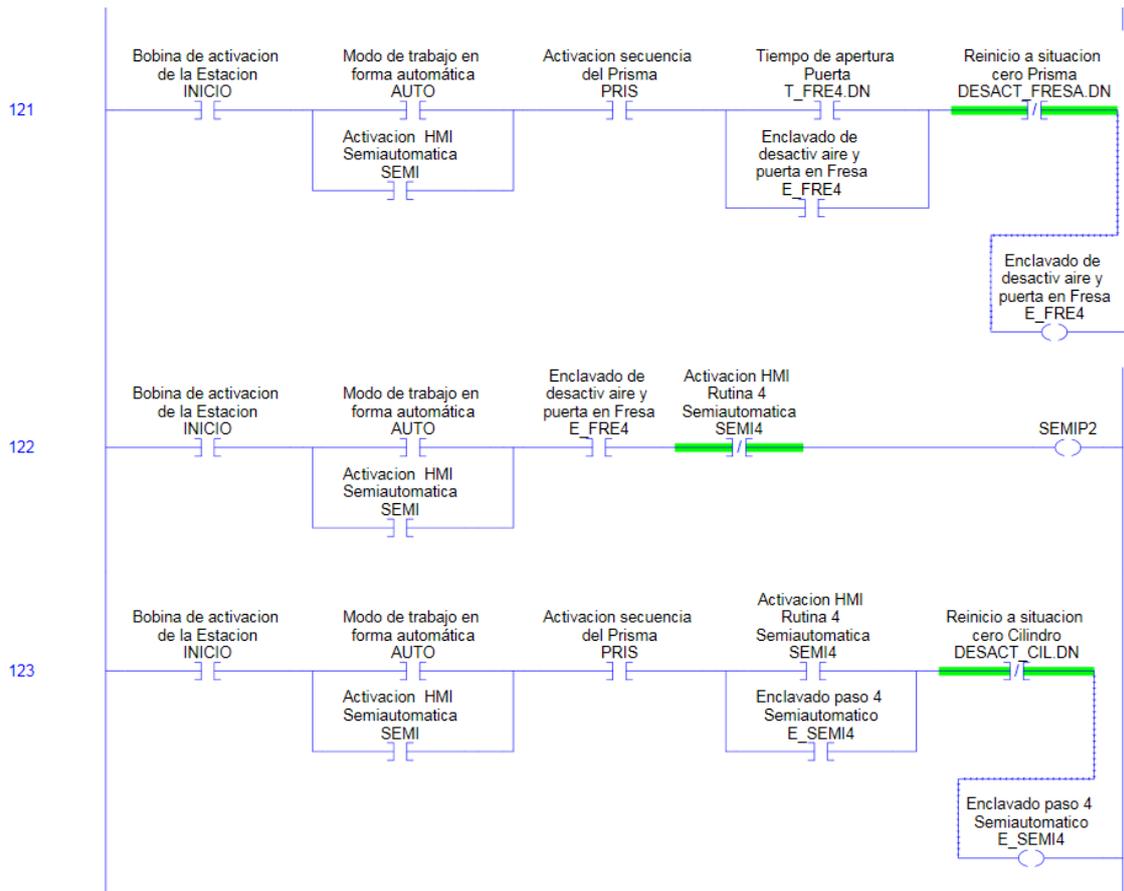


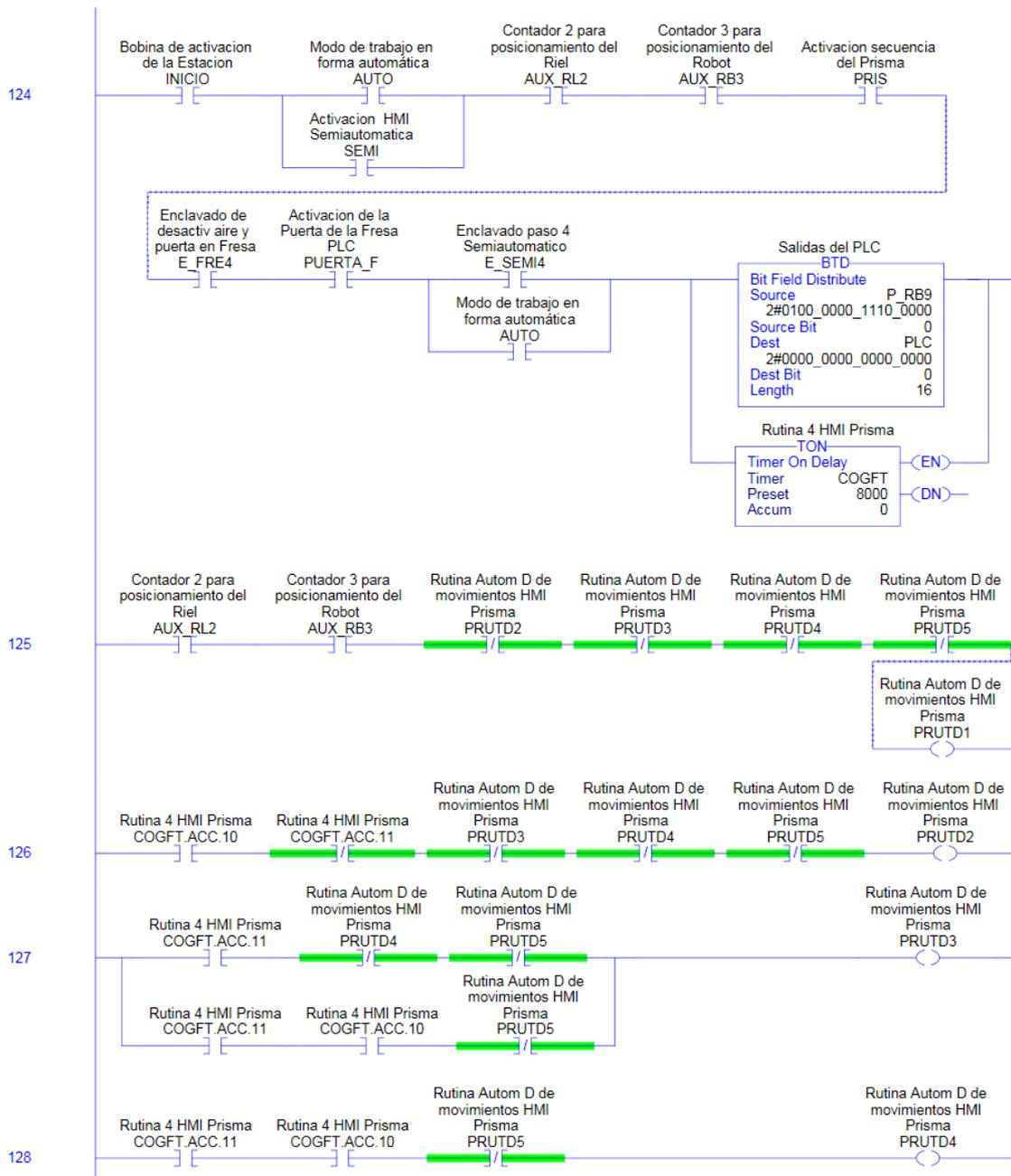


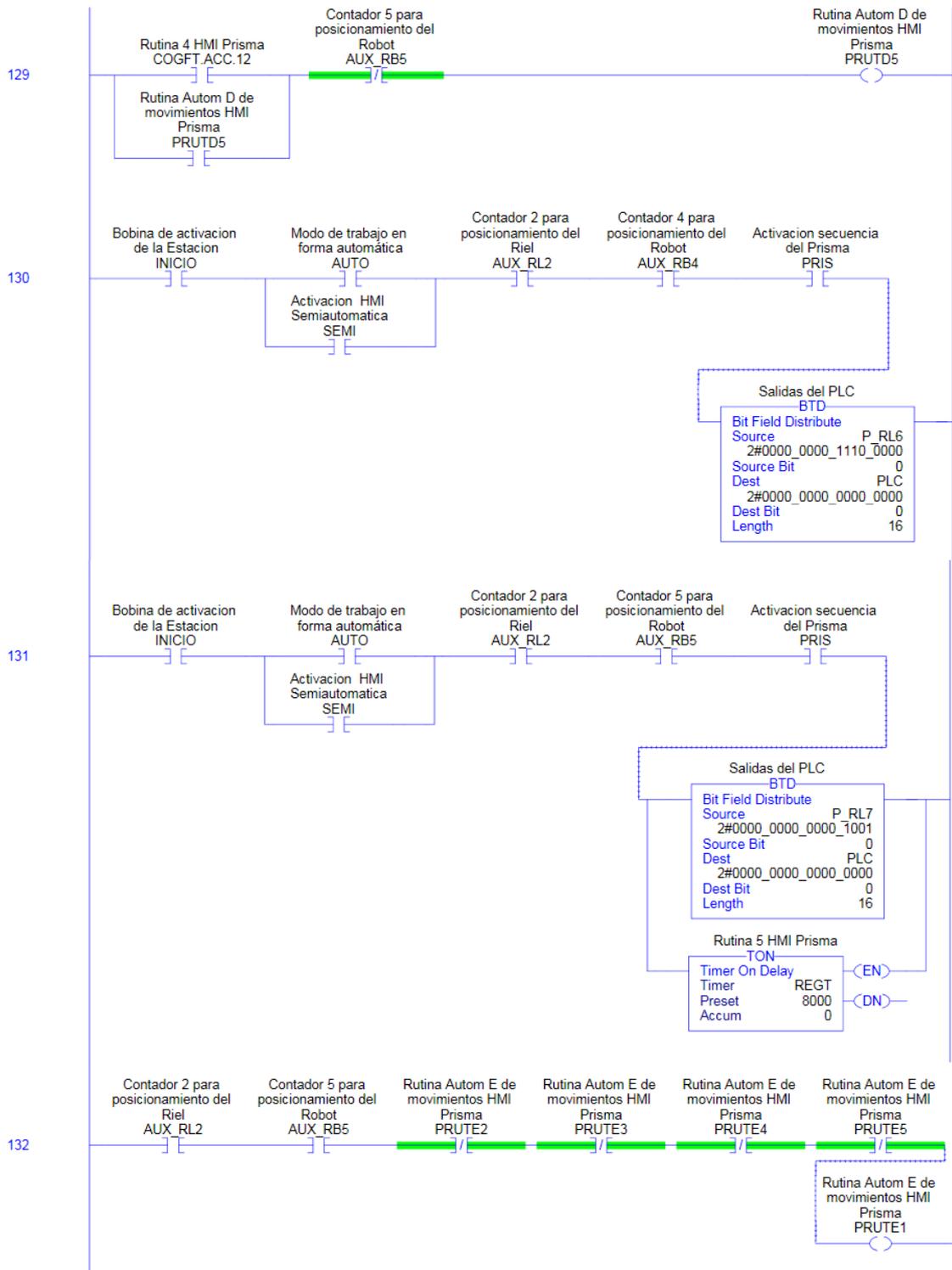


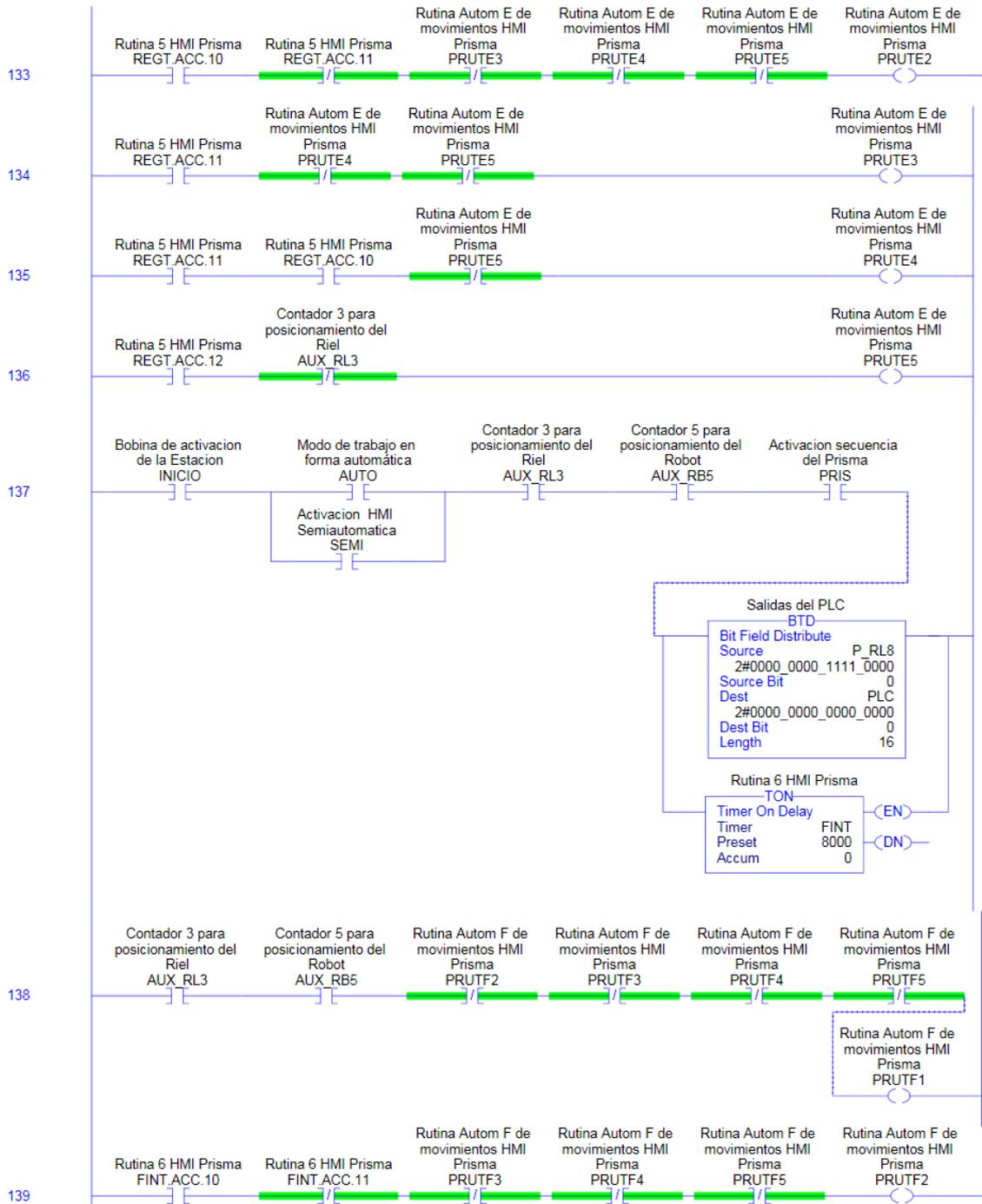


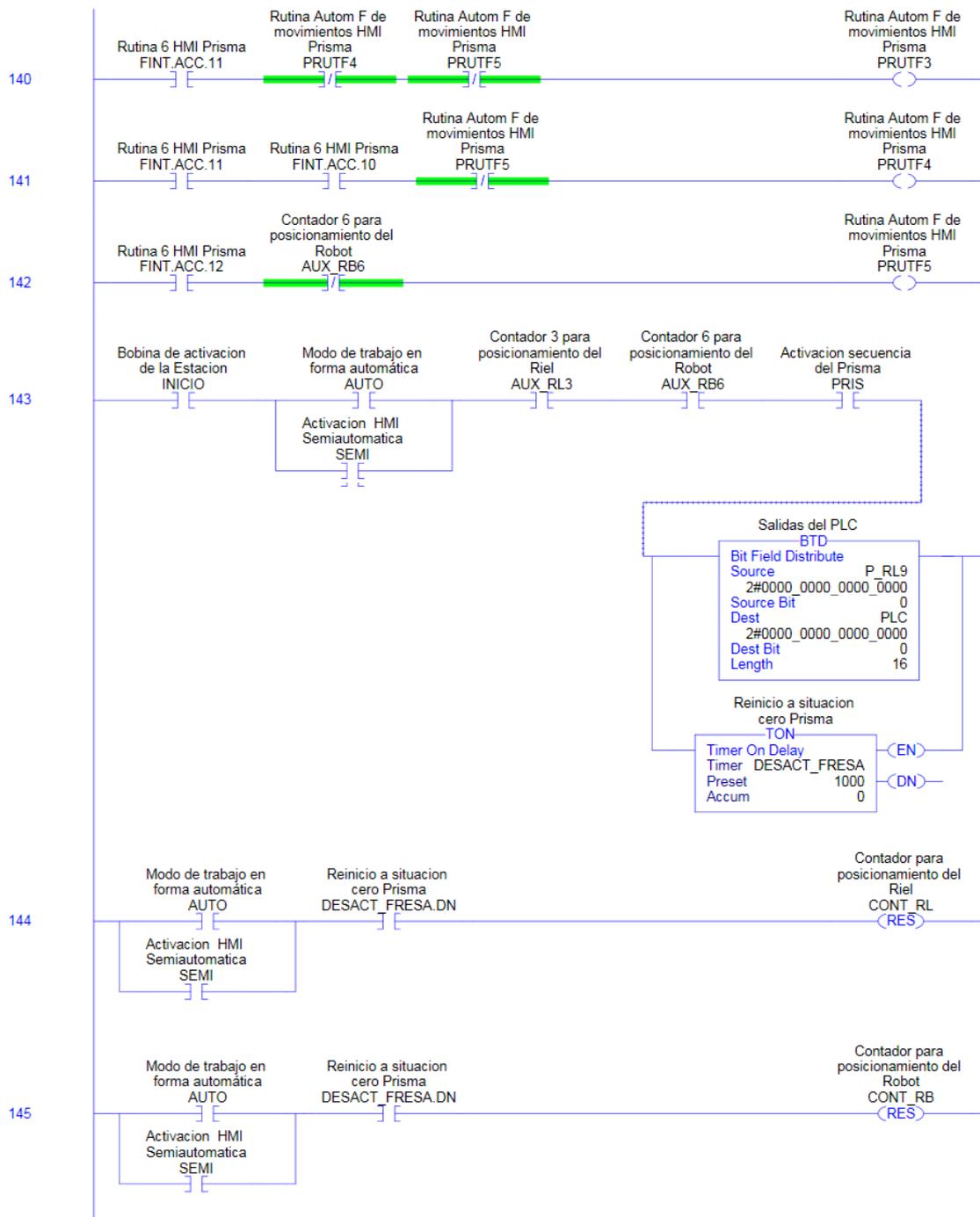


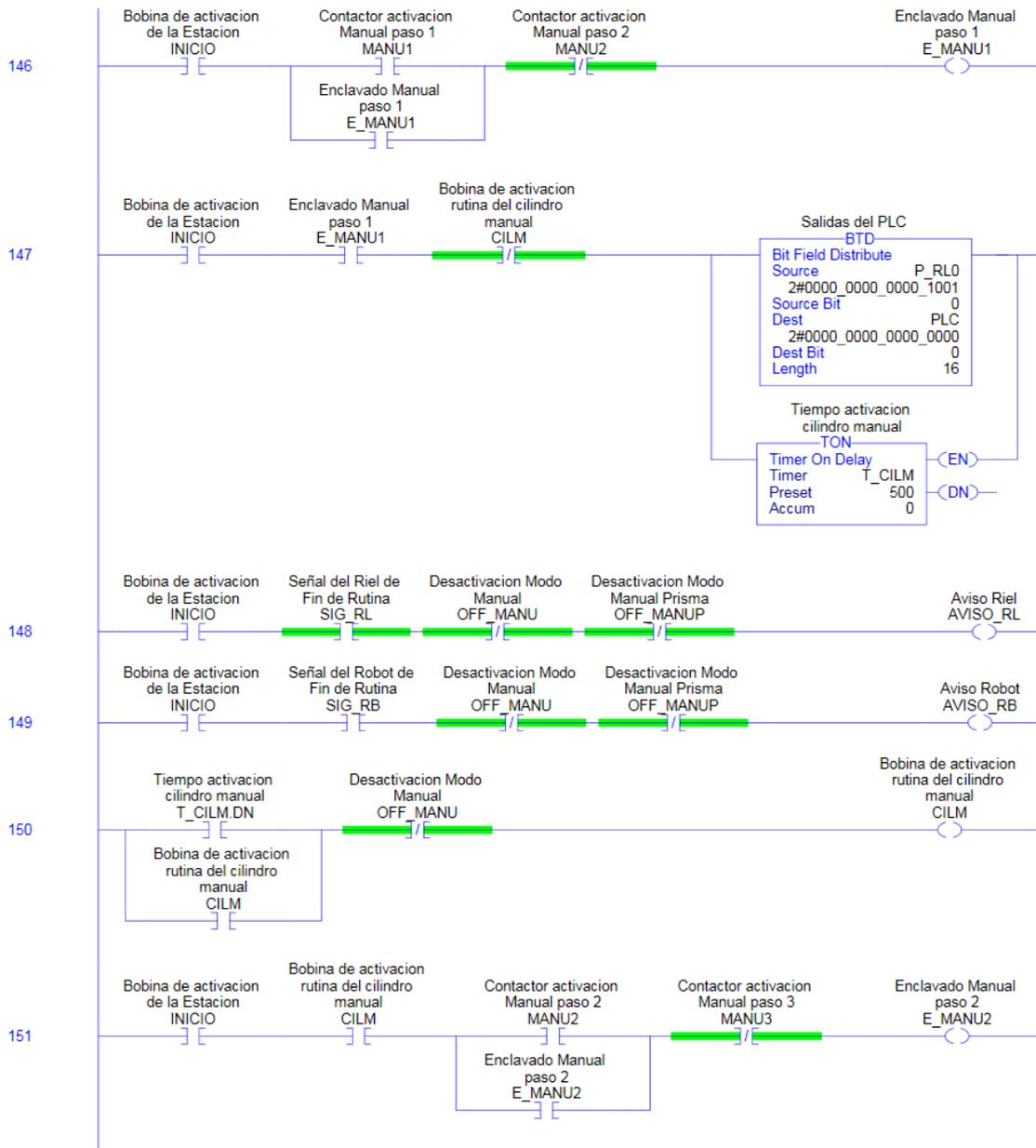


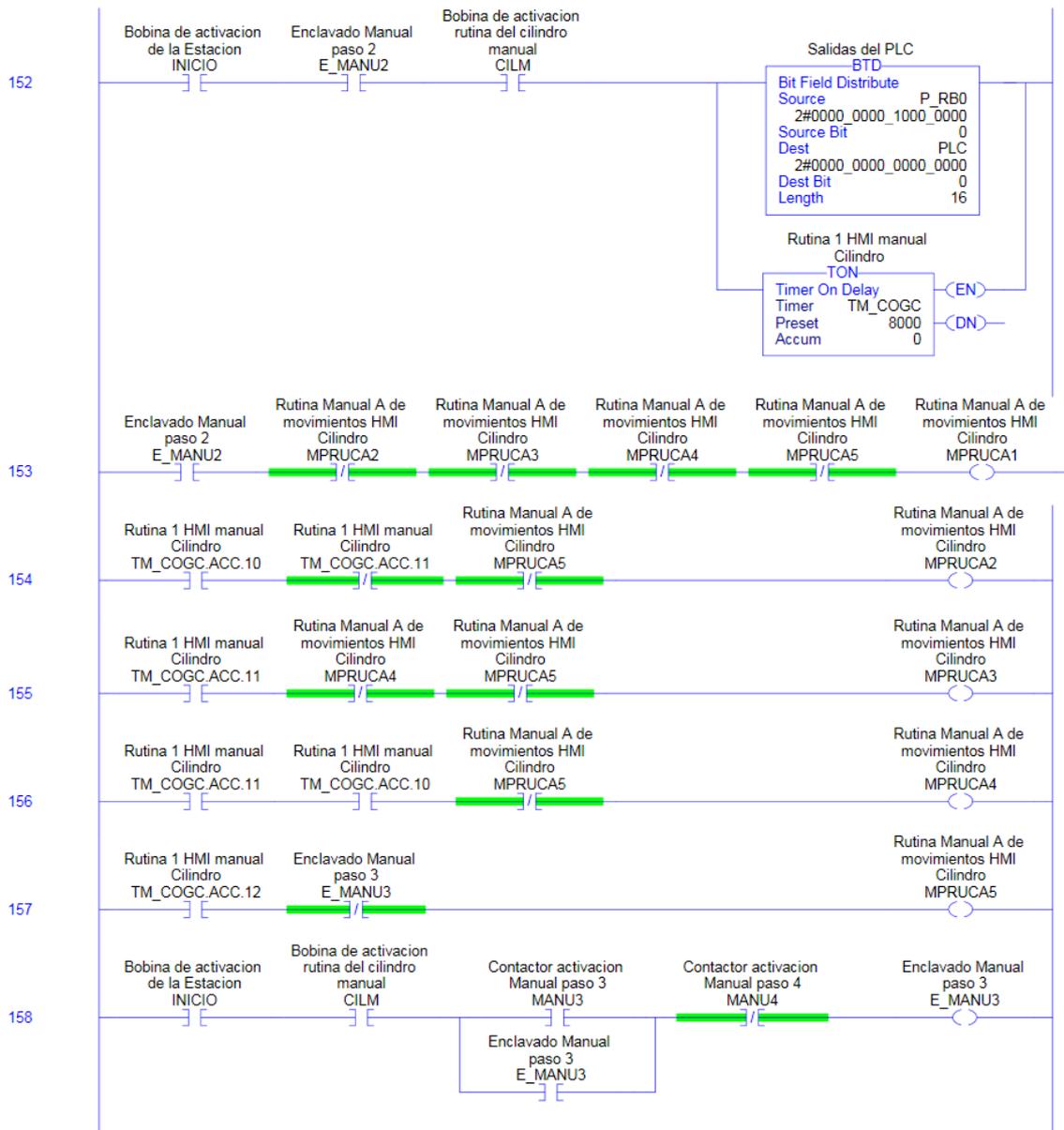


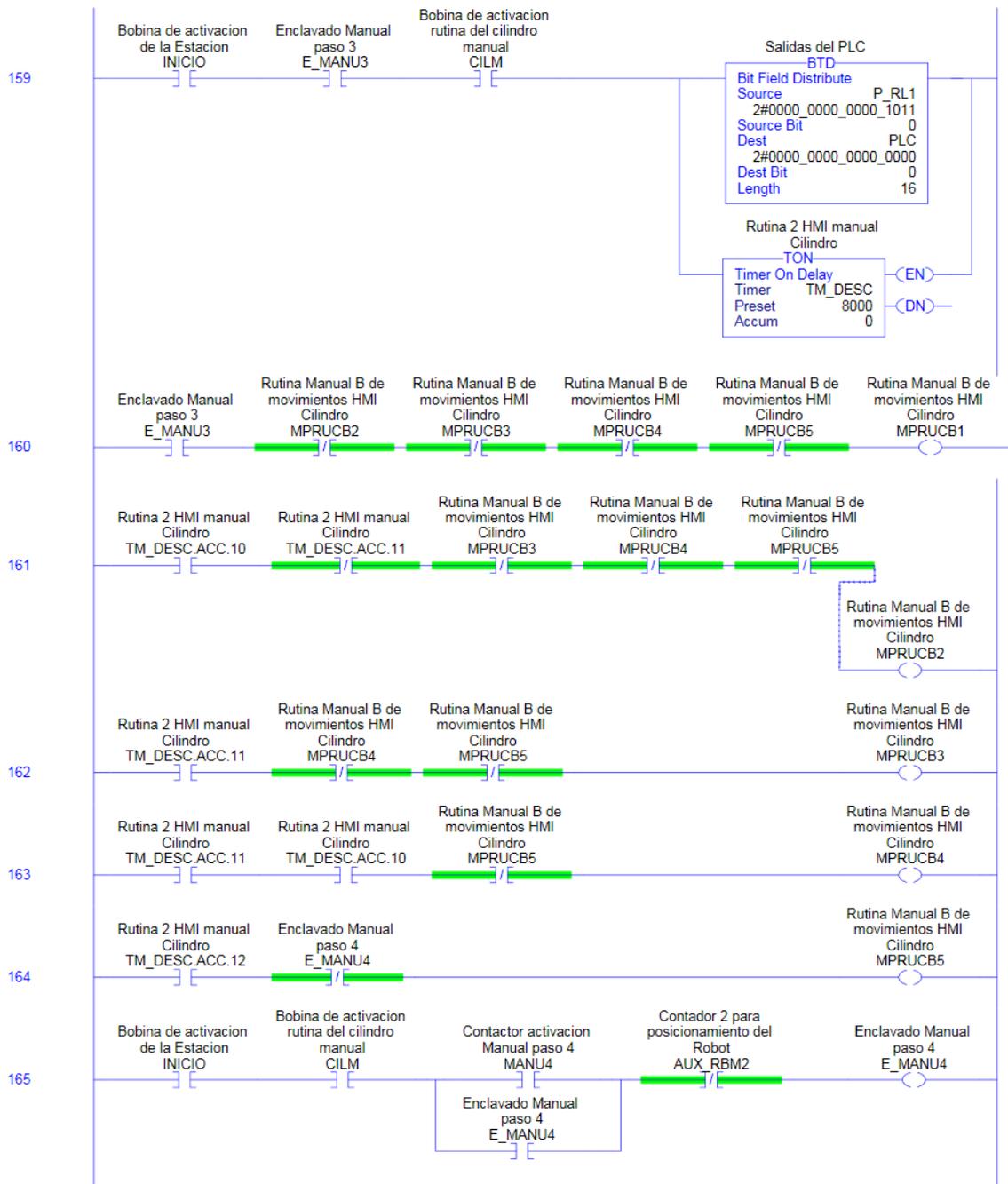


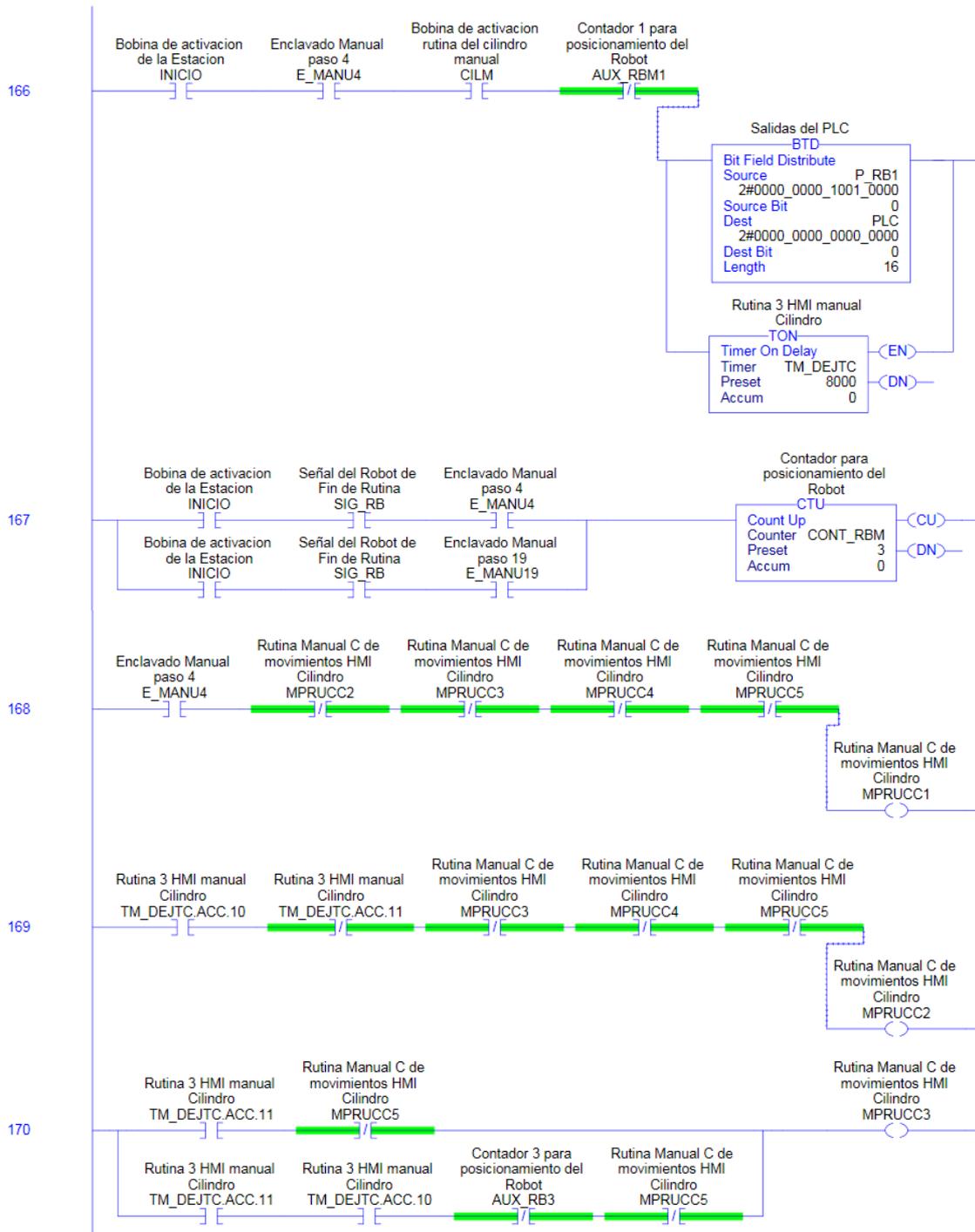


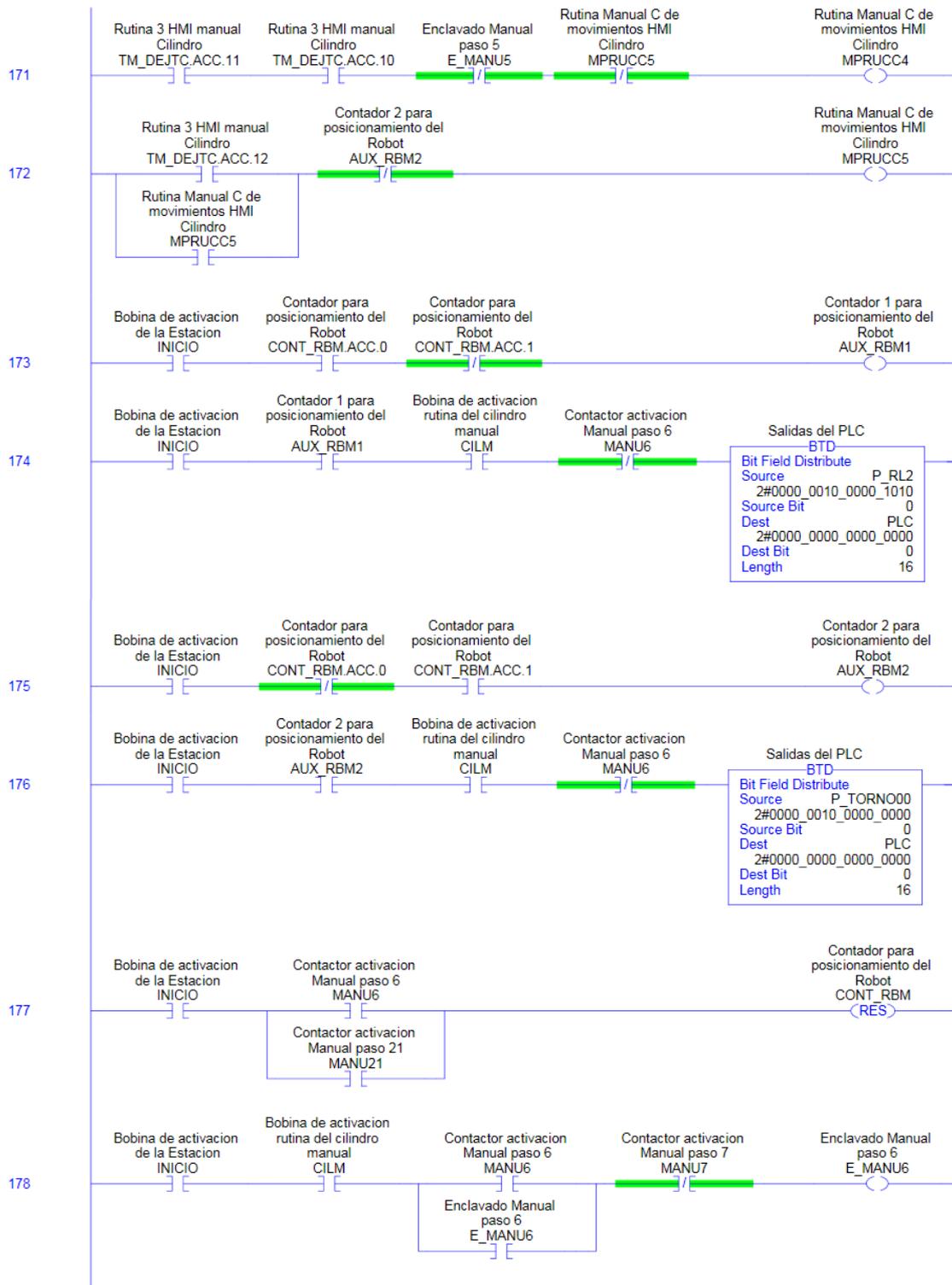


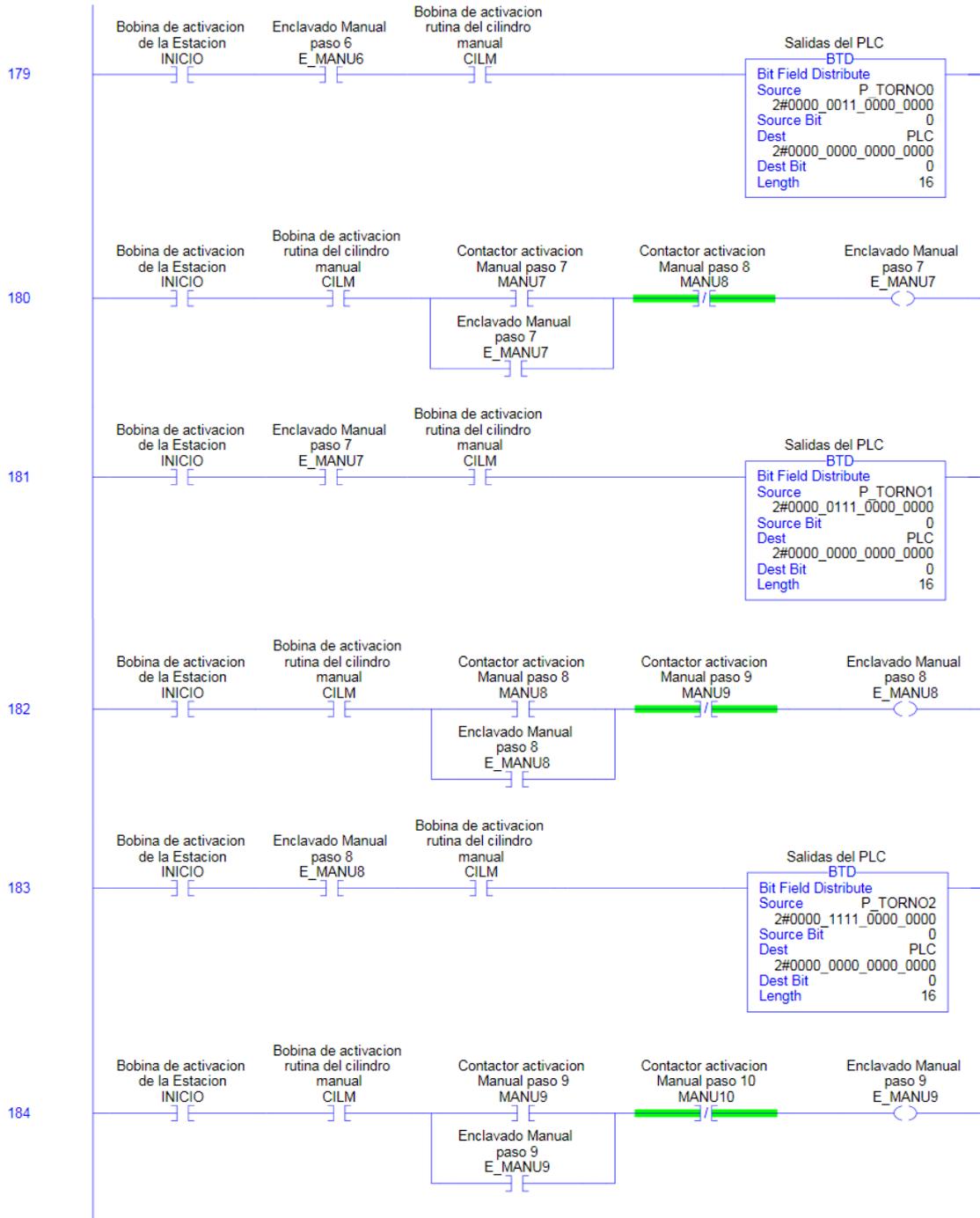


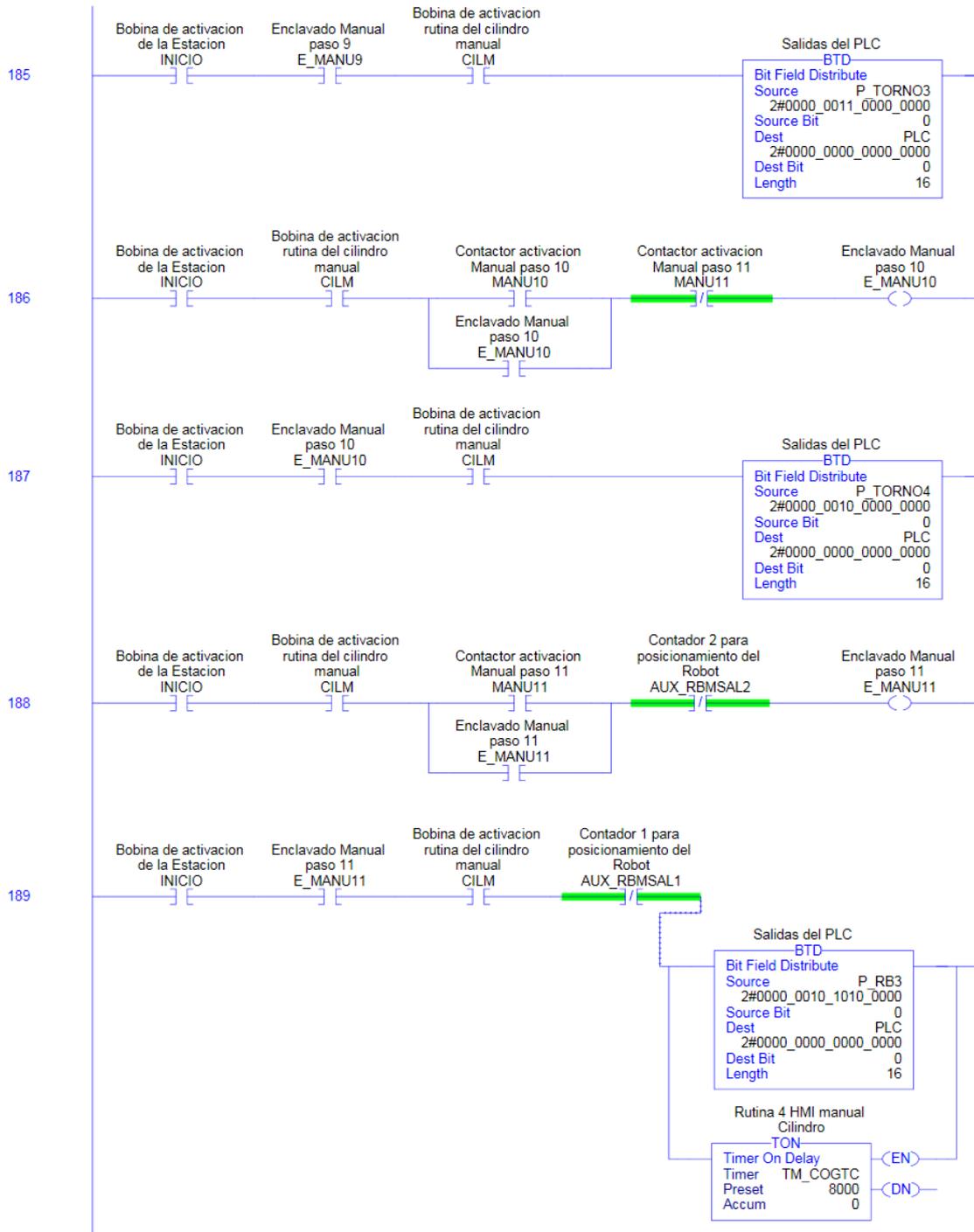


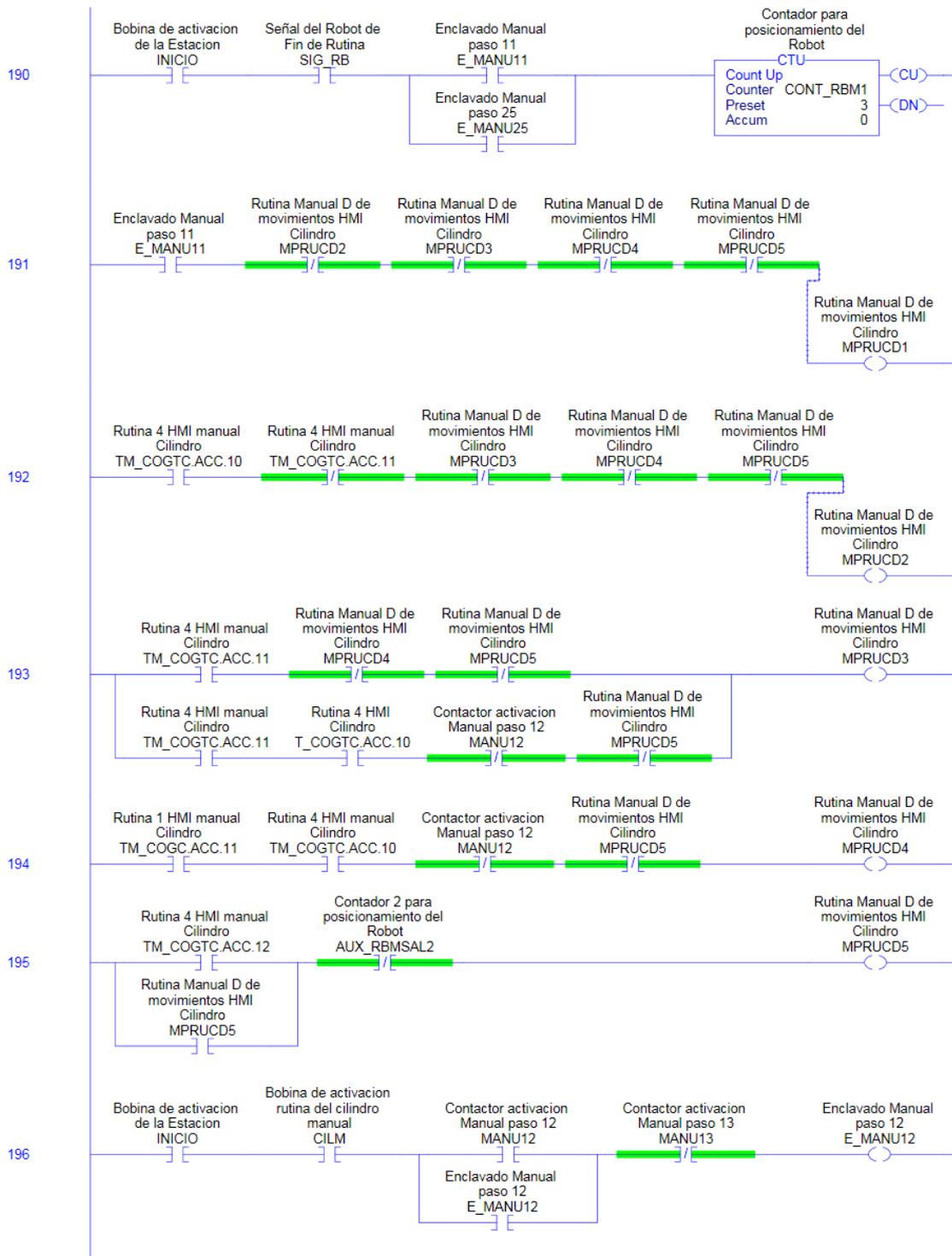


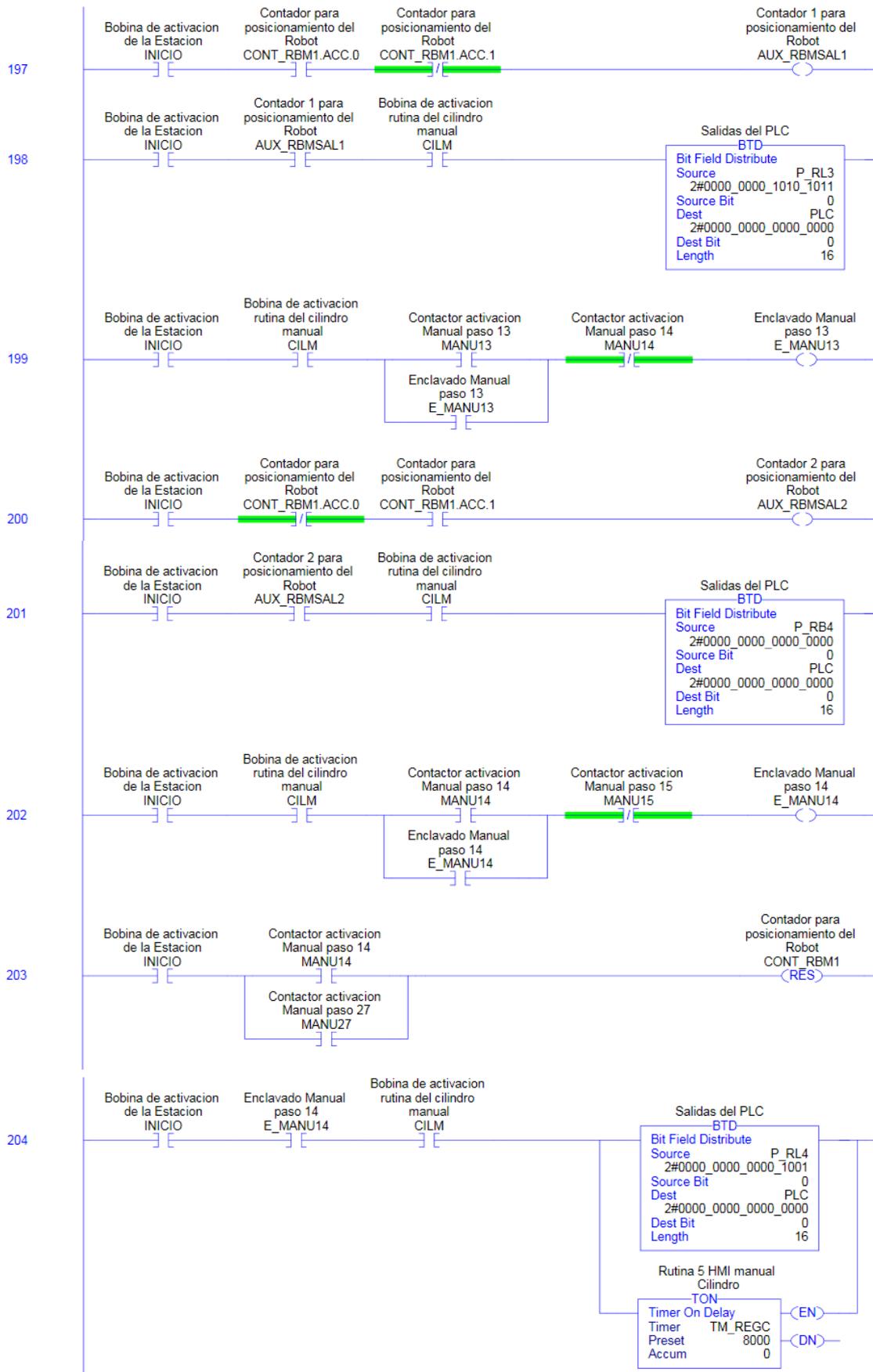


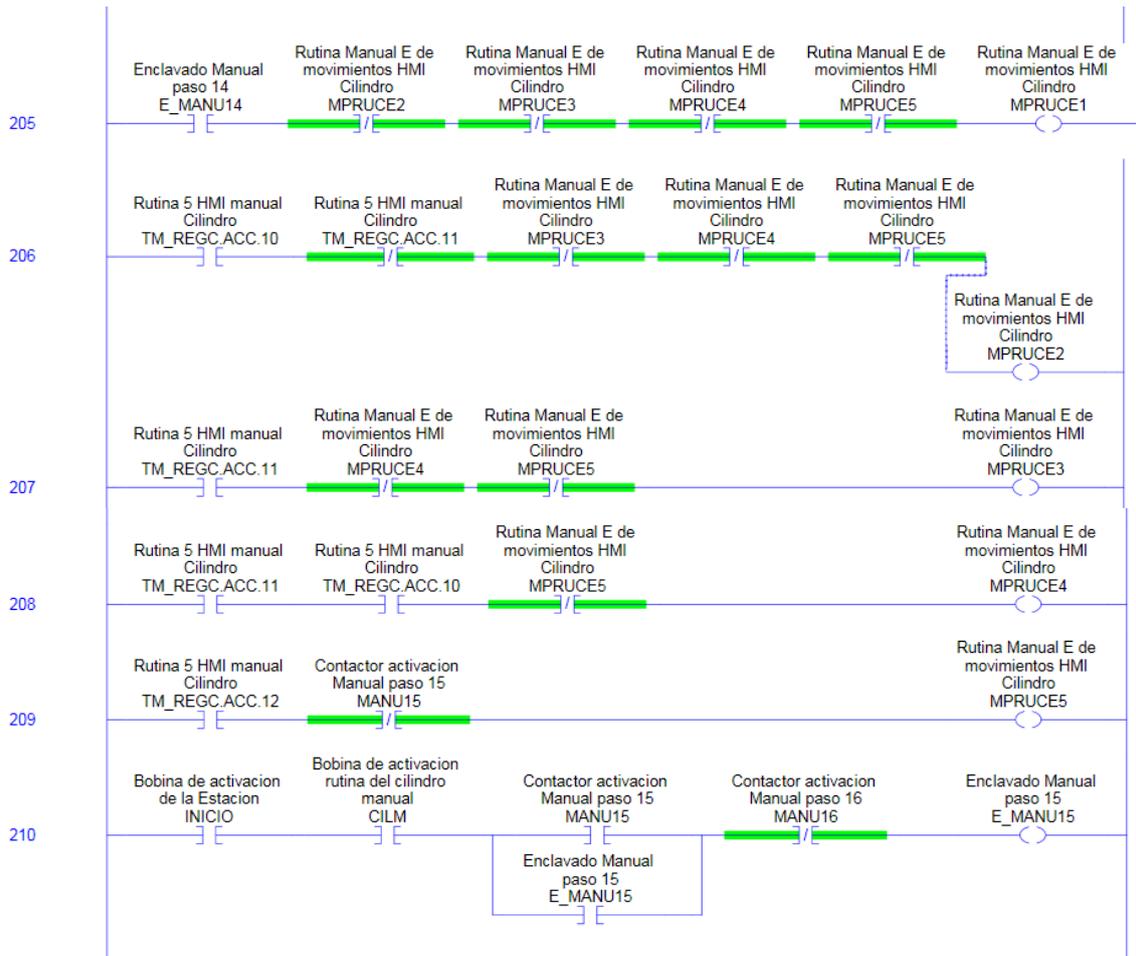


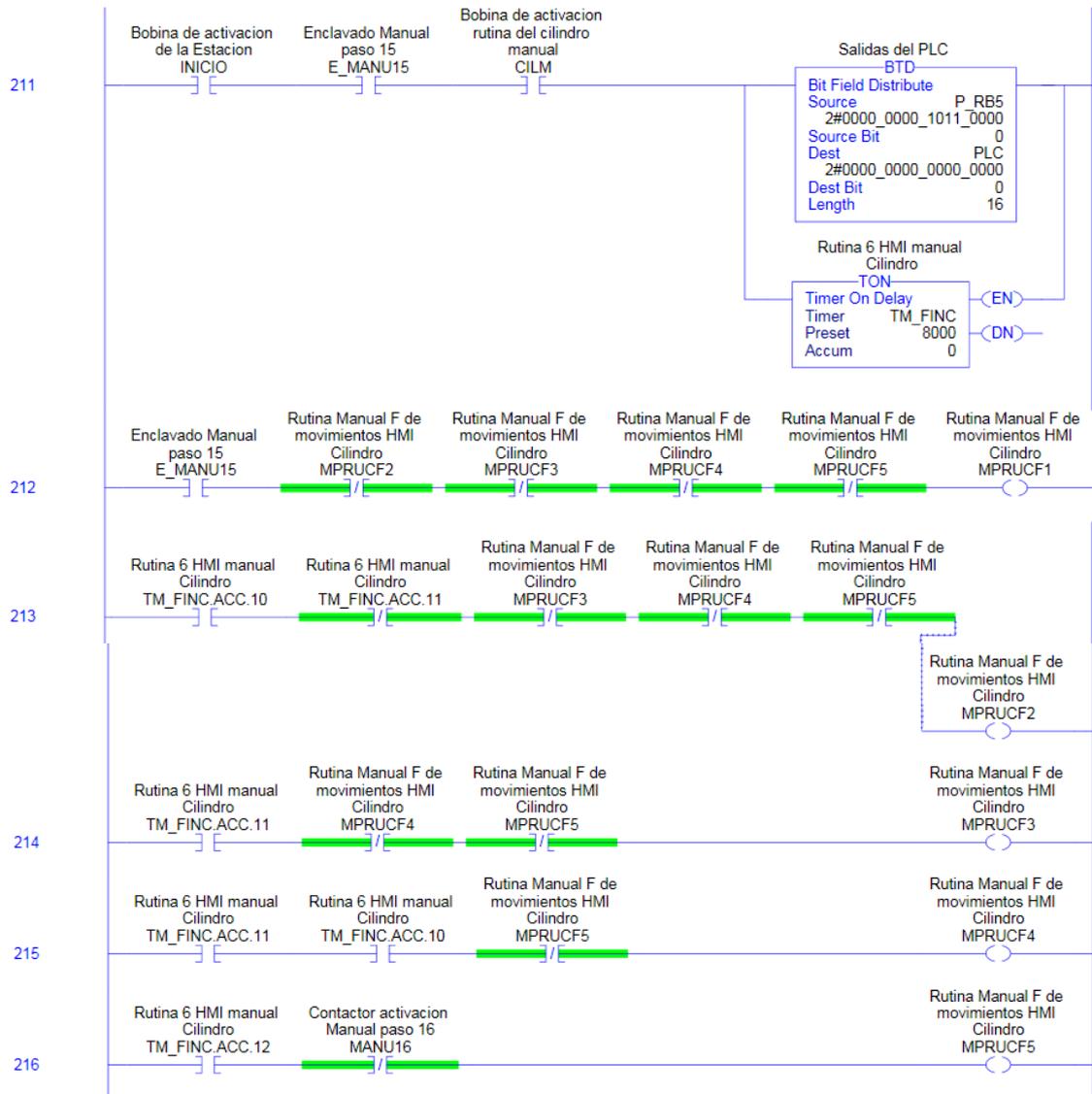


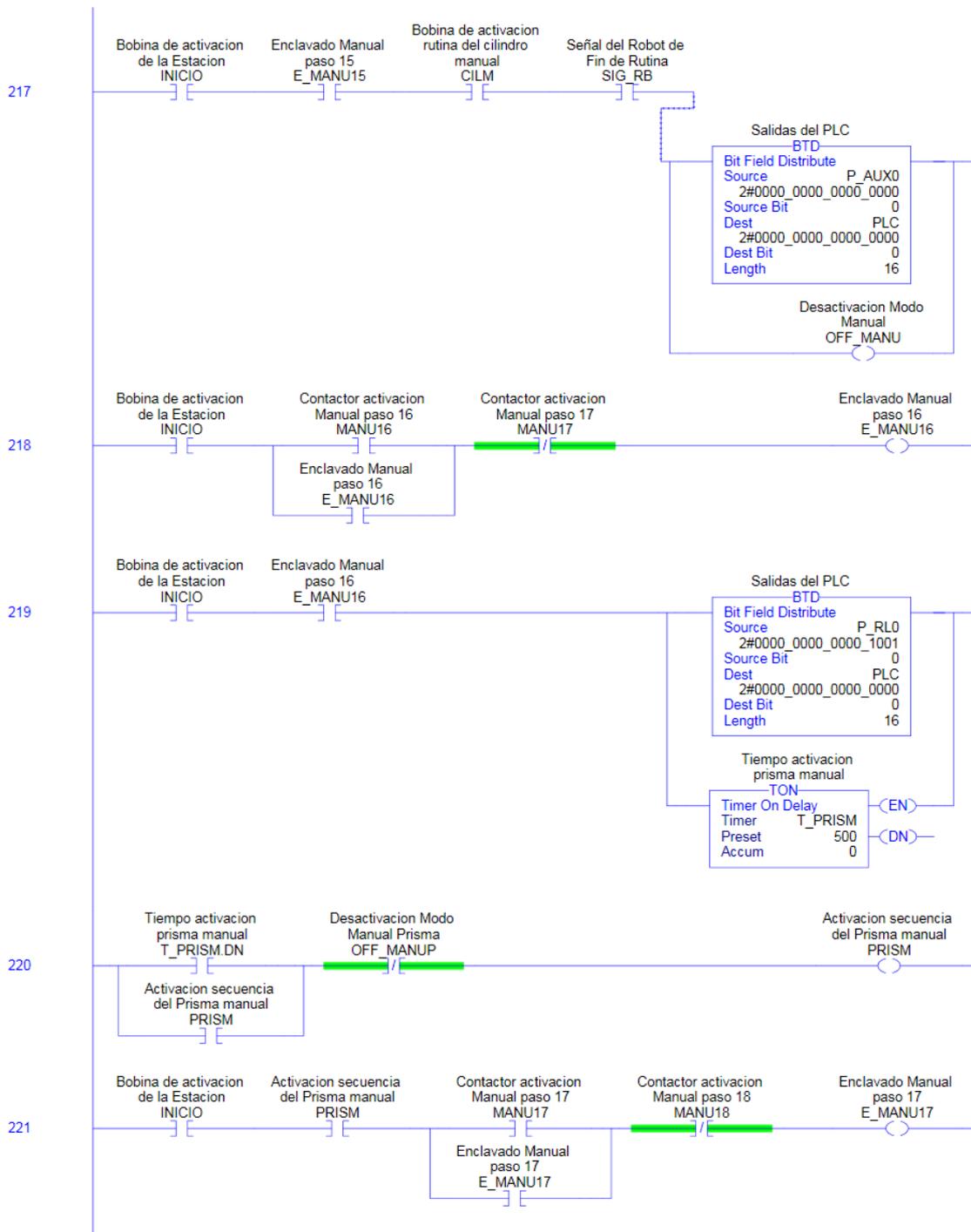


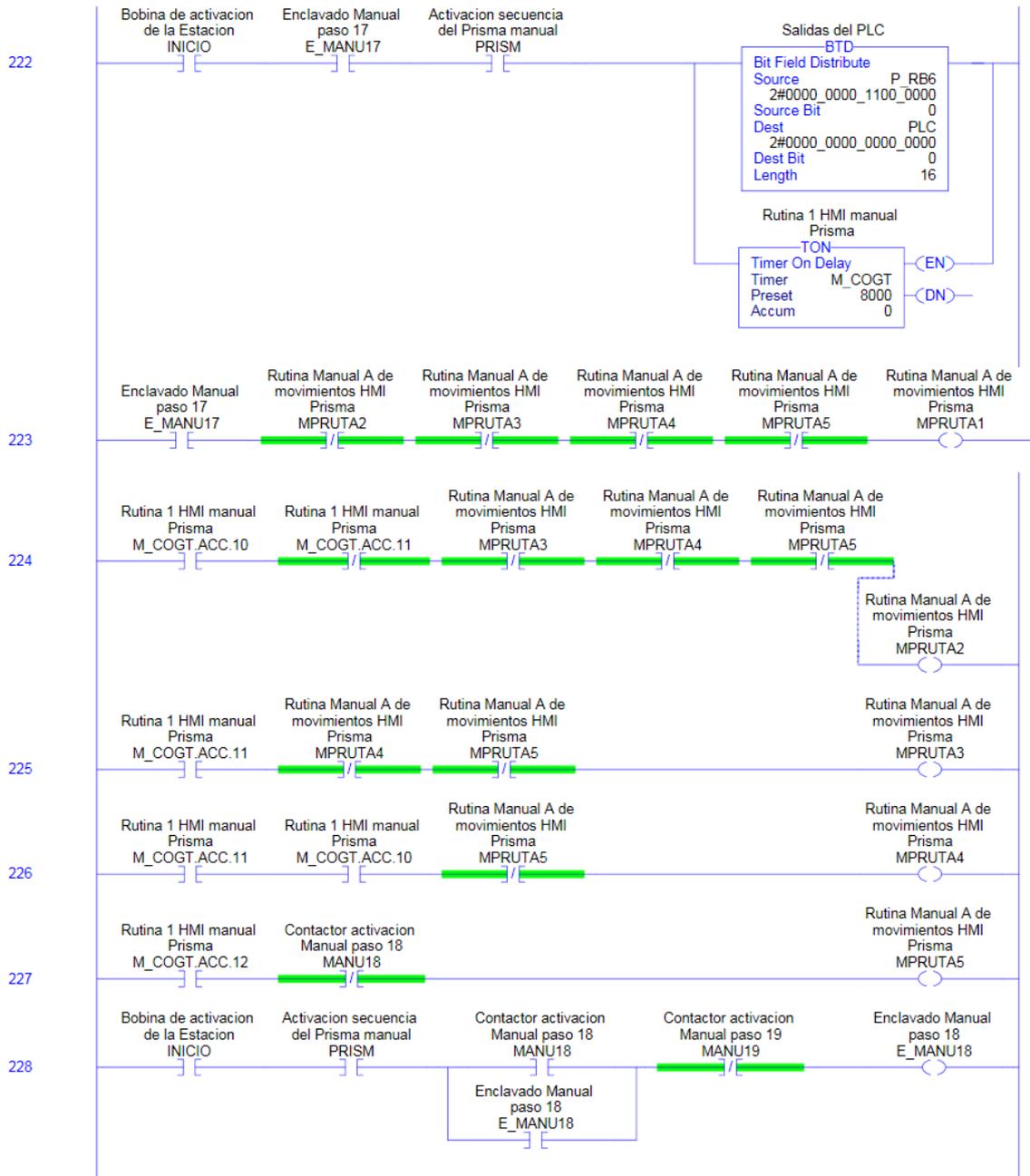


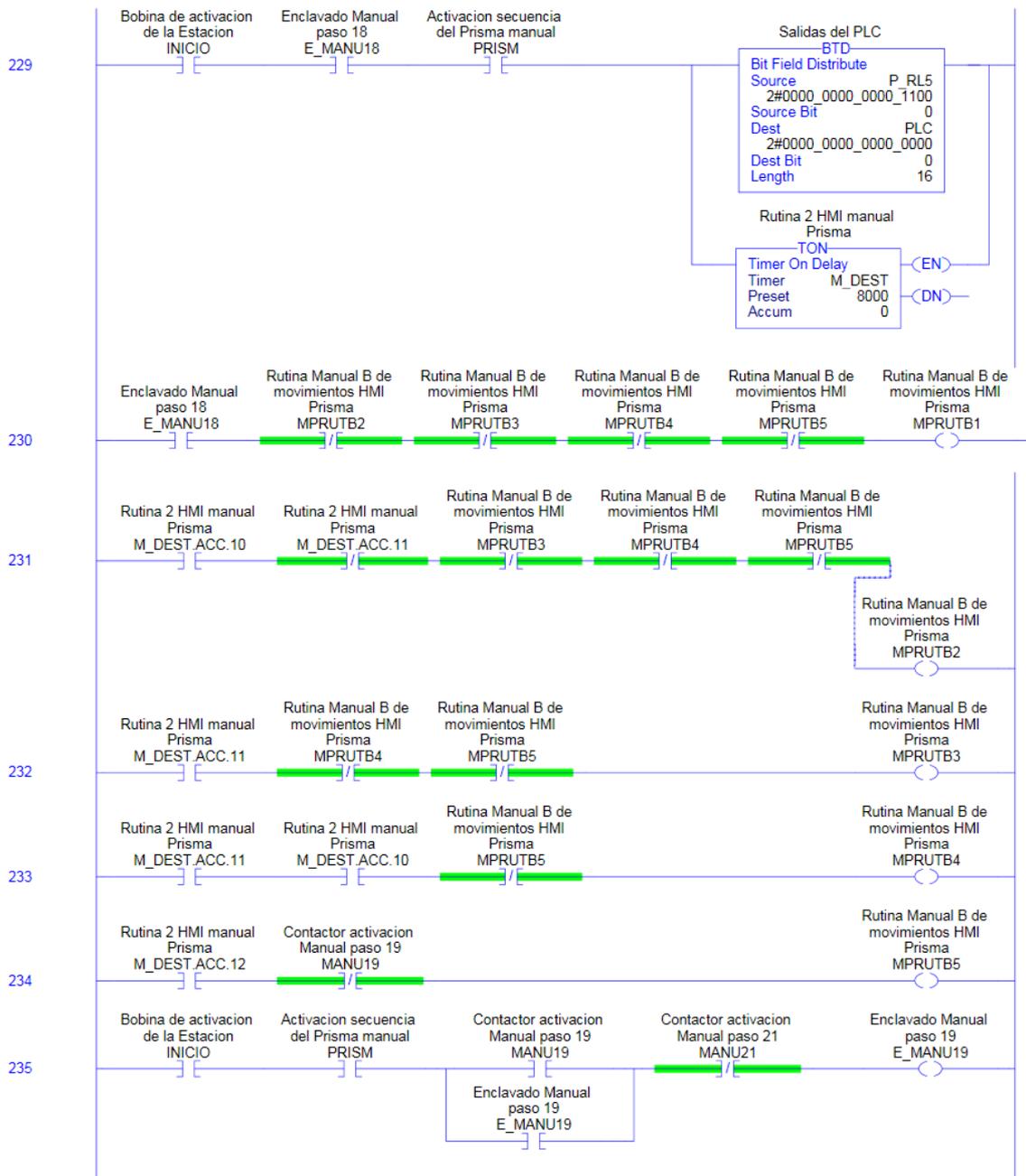


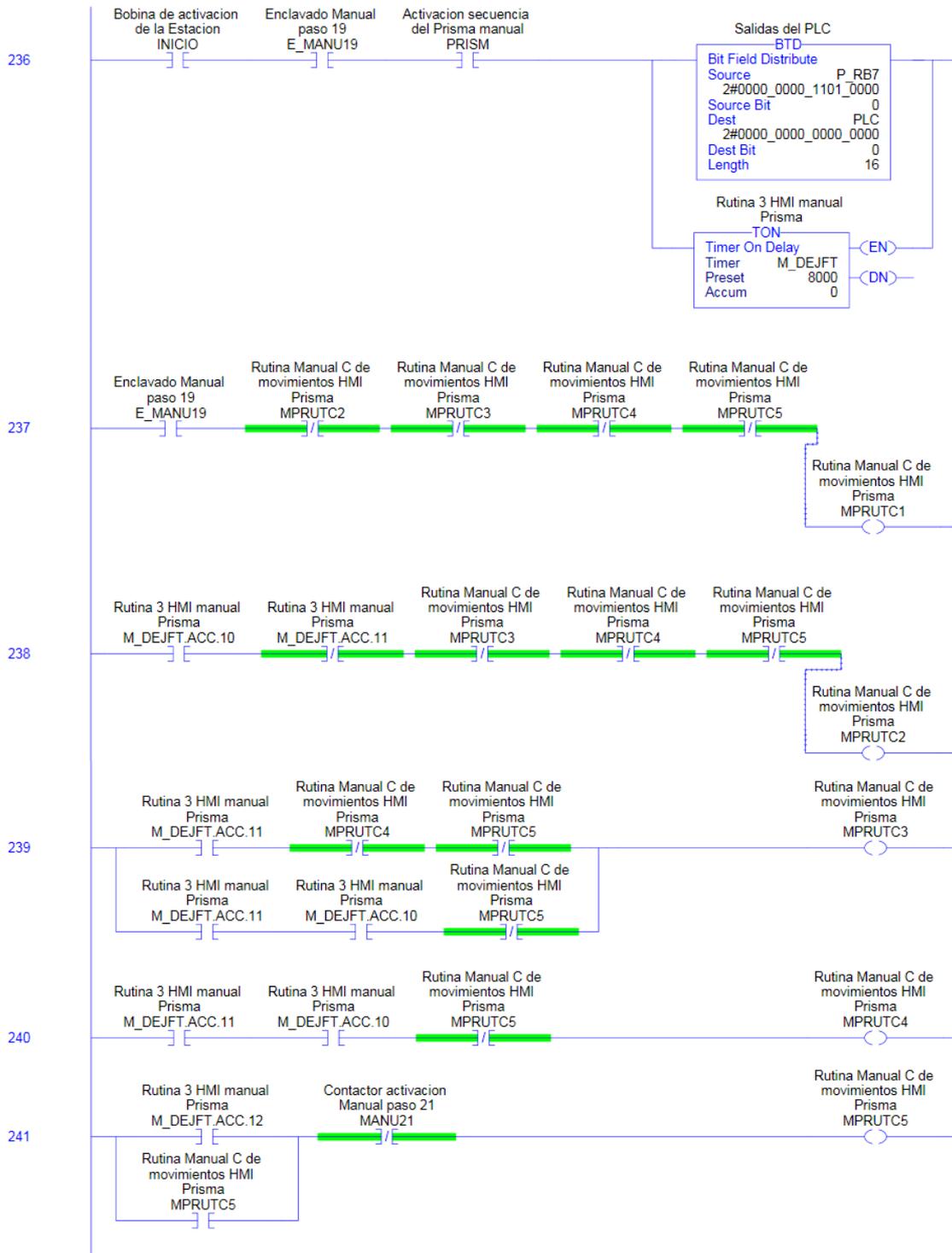


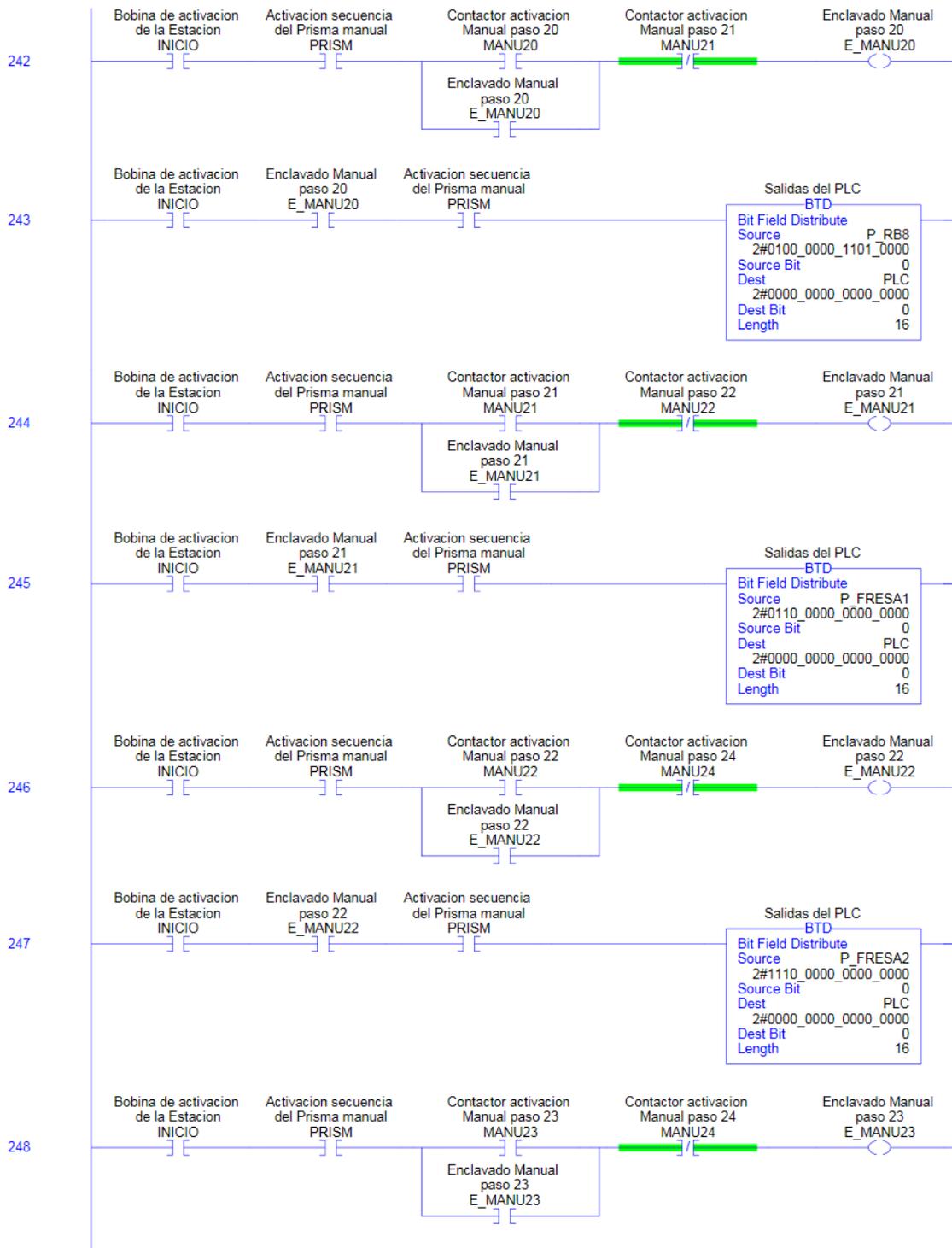


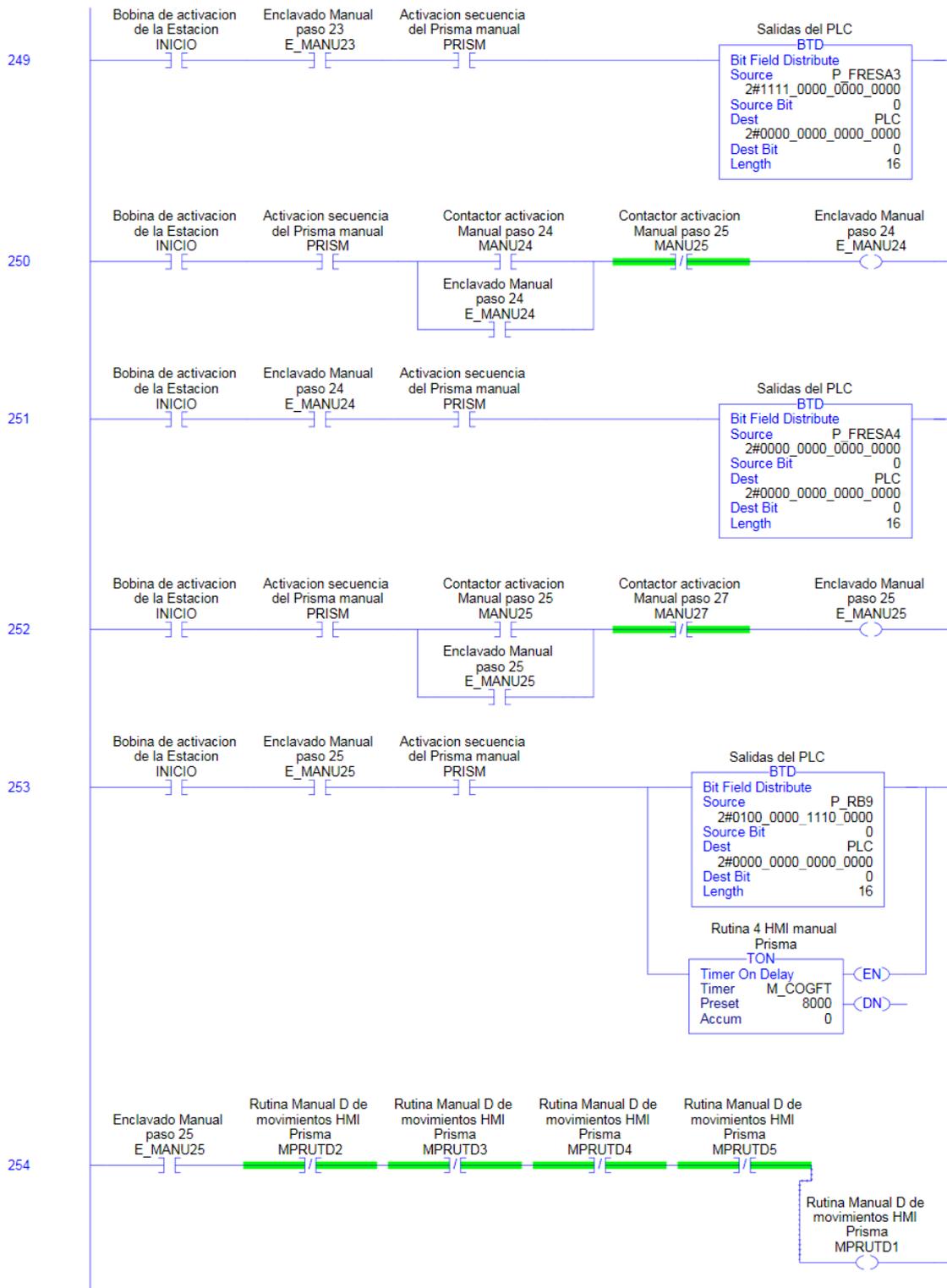


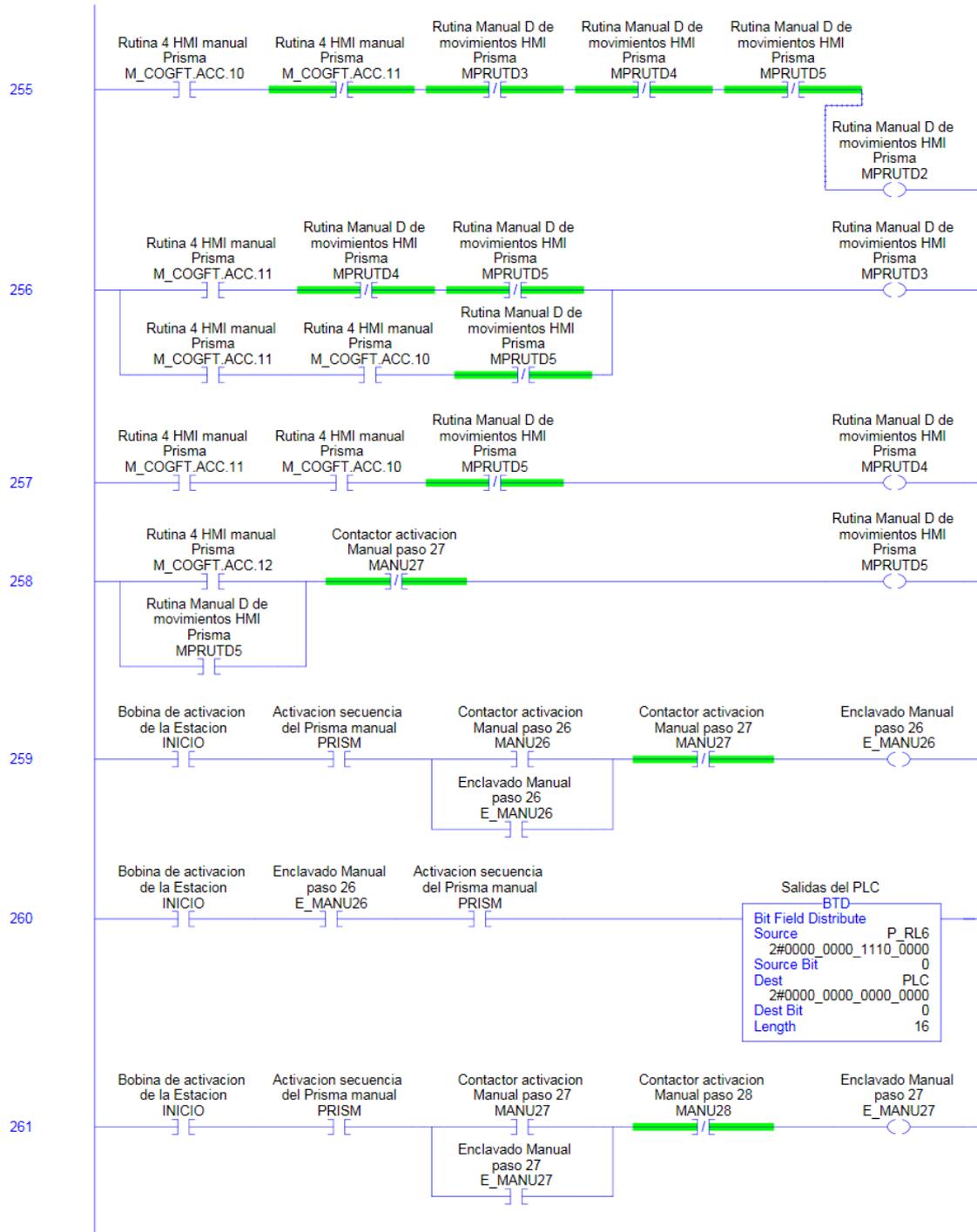


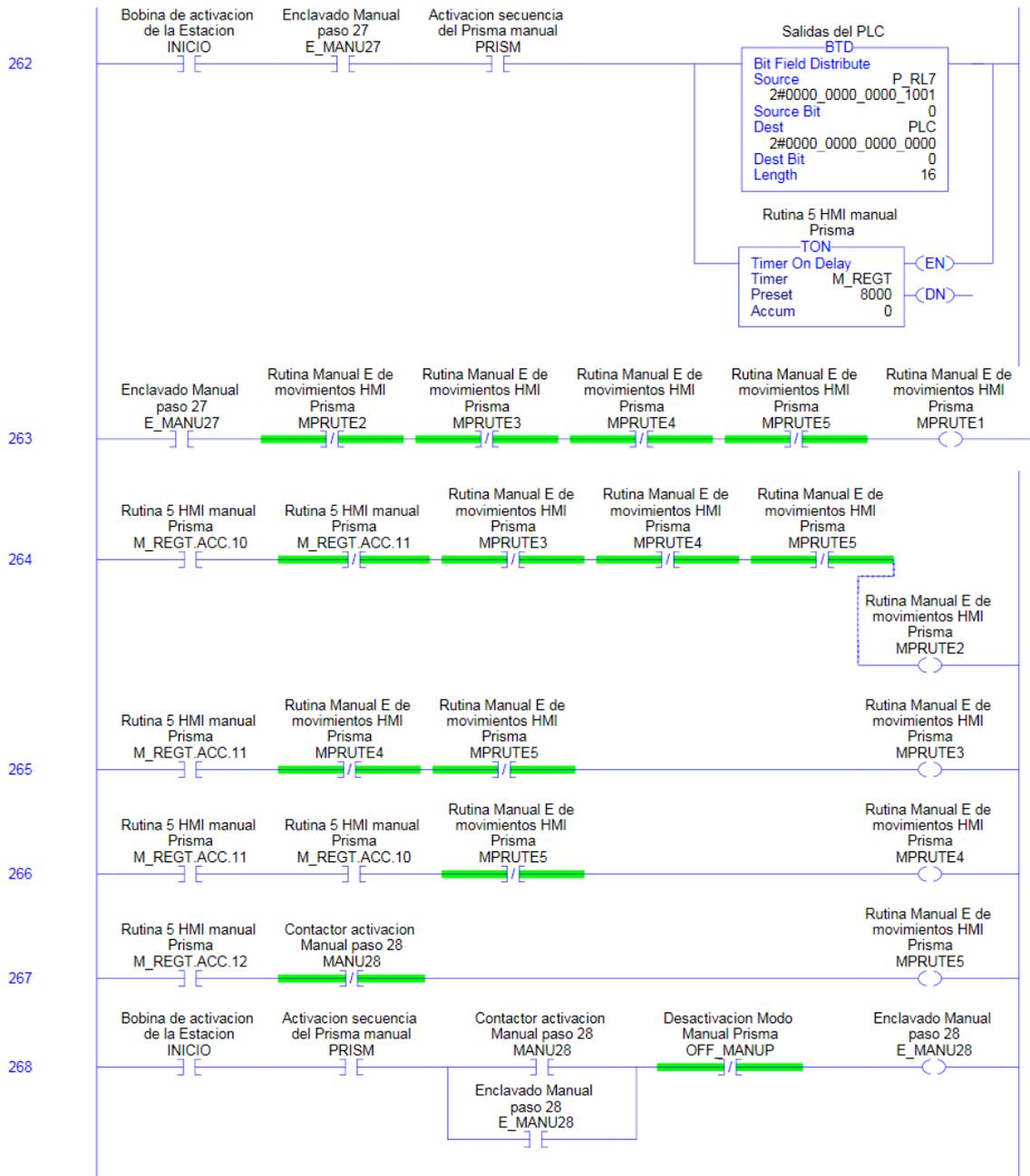


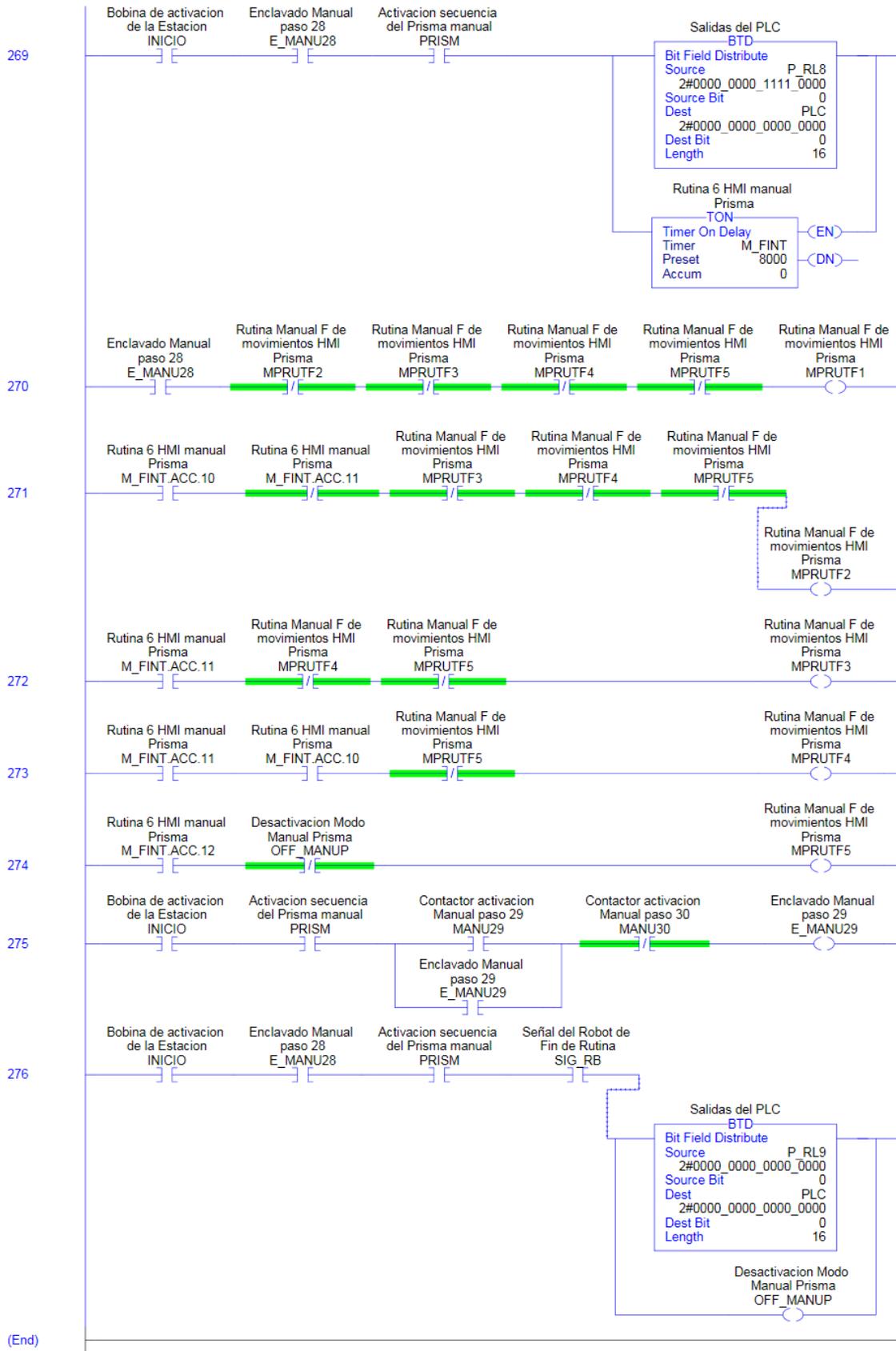












5.8 PROGRAMA ROBCOM

```
1 OPEN
2 MOVE A1
5 IFSIG -4 THEN 5
10 OUTPUT -2
12 GOTO 15
15 WAIT 4
20 IFSIG -3,-2,-1 THEN 130
30 IFSIG -3,-2, 1 THEN 210
40 IFSIG -3, 2,-1 THEN 370
50 IFSIG -3, 2, 1 THEN 480
60 IFSIG 3,-2,-1 THEN 580
70 IFSIG 3,-2, 1 THEN 670
80 IFSIG 3, 2,-1 THEN 790
90 IFSIG 3, 2, 1 THEN 860
130 MOVE AUX7
140 GOTO 150
150 MOVE AUX8
160 CLOSE
170 MOVE AUX7
180 MOVE AUX6
190 MOVE AUX5
195 OUTPUT 2
200 IFSIG 4 THEN 200
205 OUTPUT -2
207 GOTO 10
210 MOVE AUX4
220 MOVE AUX3
225 GOTO 230
230 MOVE AUX2
240 MOVE AUX1
245 OUTPUT 2
250 DELAY 4
253 GOTO 255
255 OUTPUT -2
260 GOTO 270
270 OPEN
280 MOVE AUX2
290 MOVE AUX5
293 DELAY 2
294 GOTO 295
295 OUTPUT 2
300 DELAY 2
305 OUTPUT -2
310 GOTO 10
370 GOTO 380
380 MOVE AUX2
390 MOVE AUX1
400 GOTO 410
```

```
410 CLOSE
412 OUTPUT 2
415 DELAY 4
417 OUTPUT -2
420 MOVE AUX3
430 MOVE AUX5
435 OUTPUT 2
440 IFSIG 4 THEN 440
450 OUTPUT -2
460 GOTO 10
480 MOVE A1
490 MOVE AUX7
500 MOVE AUX8
510 GOTO 515
515 DELAY 2
520 OPEN
530 GOTO 540
540 MOVE AUX7
550 MOVE A1
560 OUTPUT 2
565 IFSIG 4 THEN 565
570 GOTO 10
580 MOVE B1
590 GOTO 600
600 MOVE B2
605 GOTO 607
607 DELAY 2
610 CLOSE
620 MOVE B2
630 MOVE B1
640 MOVE B3
645 OUTPUT 2
650 DELAY 2
655 OUTPUT -2
660 GOTO 10
670 MOVE B6
680 MOVE B4
690 GOTO 700
700 MOVE B5
705 DELAY 2
710 GOTO 720
720 OUTPUT 2
730 DELAY 2
735 OUTPUT -2
740 OPEN
750 MOVE B4
760 MOVE B6
765 OUTPUT 2
770 DELAY 2
775 OUTPUT -2
```

```
780 GOTO 10
790 MOVE B4
800 MOVE B5
810 GOTO 820
820 DELAY 1
825 CLOSE
828 GOTO 830
830 OUTPUT 2
831 DELAY 2
832 OUTPUT -2
833 MOVE B4
835 MOVE B6
840 OUTPUT 2
850 DELAY 2
855 OUTPUT -2
858 GOTO 10
860 MOVE B3
890 MOVE B1
900 MOVE B2
910 GOTO 920
920 DELAY 1
930 OPEN
940 MOVE B1
950 MOVE A1
953 GOTO 955
955 OUTPUT 2
960 IFSIG 4 THEN 960
970 GOTO 10
980 STOP
$
```

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- Se integró el PLC Compact Logix 5000 de la familia Allen Bradley en la estación de maquinado FMS 2101 como un elemento altamente eficaz para el proceso de automatización, con la inclusión de este controlador se cuenta con una plataforma de alto nivel y mejor tecnología.
- Con la nueva plataforma de Allen Bradley el laboratorio CIM permite que cada estudiante pueda prepararse de una manera práctica en un entorno real con tecnología de última generación, con lo cual la Universidad garantiza una capacitación de excelencia en cada uno de sus estudiantes.
- El FMS es un sistema que desde su creación hasta la fecha ha sufrido varios cambios ya sea esto en base a su comunicación o en cada una de sus maquinas para la ejecución de los procesos que con ellas realizan, pero cada uno de estos cambios hace ver que el hombre es un ente que camina hacia una superación constante donde las máquinas cumplan con el propósito de mejorar el estilo de vida de la humanidad.
- Con la comunicación Ethernet Implementada en la estación FMS el CIM ganó una comunicación más rápida y se redujo considerablemente la cantidad de cables que eran empleados para enviar y recibir datos entre

la estación de control y la estación FMS que permiten las activaciones del sistema.

- La variación en el tiempo de ejecución del trabajo completo que realiza la estación FMS puede hacerse gracias al ajuste de las diferentes velocidades del brazo robótico, con lo que se puede aumentar o disminuir la velocidad de producción lo que hace posible simular las variaciones de tiempo de manufacturación en las empresas y ayuda a los estudiantes a analizar las pérdidas en un proceso de producción.
- La flexibilidad de la nueva plataforma permite incluir mayor número de entradas y salidas al PLC y por tanto la estación está preparada para incluir dispositivos adicionales si se desea ampliar esta área de producción.
- Se realizó los programas para el funcionamiento de la estación utilizando el RSLogix 5000 y el Robcom como Software, y durante todo el proceso de programación se realizaron pruebas de funcionamiento de cada sentencia u orden del PLC y del controlador robótico, consiguiendo así la precisión deseada en cada movimiento del Robot.
- Para la inclusión del nuevo PLC en la estación de maquinado, se consideró la incompatibilidad de lógicas al enviar y recibir señales del controlador CompactLogix 5000 por lo cual, se implementó un circuito inversor de señales con la finalidad de cambiar de lógica a las señales del PLC y que pueda ser compatible con el controlador robótico y el riel.
- El torno y la fresadora realizan una simulación del maquinado de la materia prima, debido a que no se puede efectuar el tallado de las piezas por un desperfecto en la tarjeta principal de la fresadora y por una compilación errónea del software original que inicialmente se realizaba con el programa LATHE.

6.2 RECOMENDACIONES

- El programa del robot y el programa del PLC constan de sentencias y ordenes que deben seguir un estricto orden, lógico y secuencial, por lo cual se recomienda realizar el mayor número de pruebas experimentales hasta tener un resultado satisfactorio en lo referente a la ejecución de los movimientos robóticos complementados con desplazamientos de la riel.
- Para acoplar un dispositivo o elemento dentro de un sistema que funciona de manera eficaz, se debe primero estudiar su entorno y entender el funcionamiento de los demás dispositivos por lo cual se recomienda realizar pruebas experimentales con las señales y así encontrar un medio compatible para el acople de un nuevo dispositivo, como por ejemplo el PLC Compact Logix 5000 en la estación FMS 2101.

PLC Allen Bradley 5000

- Antes de trabajar en línea con RSLogix 5000, se recomienda verificar los cambios realizados en el programa ya que los cambios realizados en el controlador se encuentran de forma simultánea, a una copia temporal del archivo de proyecto (.ACD). Guardar hace que estos cambios sean permanentes. Por lo tanto, una subida sólo es necesario para obtener la última copia de los datos de las etiquetas en el controlador.
- Si se necesita una guía para la programación de un proyecto, se puede encontrar ejemplos en la carpeta de RSLogix 5000 muestras. Estos proyectos demuestran las técnicas de programa y el código que puede utilizar para programar los módulos seleccionados.
- Es recomendable nombrar los tags de acuerdo a su aplicación en el programa. Todos los nombres de las etiquetas se descargan y residente en el controlador junto con su lógica.
- Es necesario verificar que los módulos de entrada y de salida del PLC se encuentren correctamente alimentados, caso contrario las señales que

se necesitan no podrán ser leídas cuando son de entradas y no serán enviadas si son de salidas.

Controlador del Robot

- En caso que el robot colisione con alguna superficie solida, fijarse en los fusibles de la parte frontal inferior del controlador, que son la protección de cada uno de los motores y giros que posee el robot. El problema que se puede generar en el robot es posible que afecte a los motores y a la fuente del controlador.
- Si durante la ejecución de un programa a una velocidad mayor al 20 % de su velocidad máxima se realiza un STOP en el robot, es posible que se afecte a la placa de potencia de los ejes de giro del robot, para ello fijarse en los fusibles de la parte frontal inferior del controlador, en las placas de potencia ubicadas en forma vertical en la parte interior del controlador.
- Si se llega a destapar el controlador del robot, tener cuidado con los circuitos que se manipulen pues la tecnología de algunos elementos del controlador son CMOS y esta tecnología es muy sensible a descargas eléctricas que incluso pueden causarse al tacto del hombre con la placa.
- Al destapar el controlador se recomienda señalar primero las conexiones de los cables para no confundirse el instante en que se esté realizando la re conexión

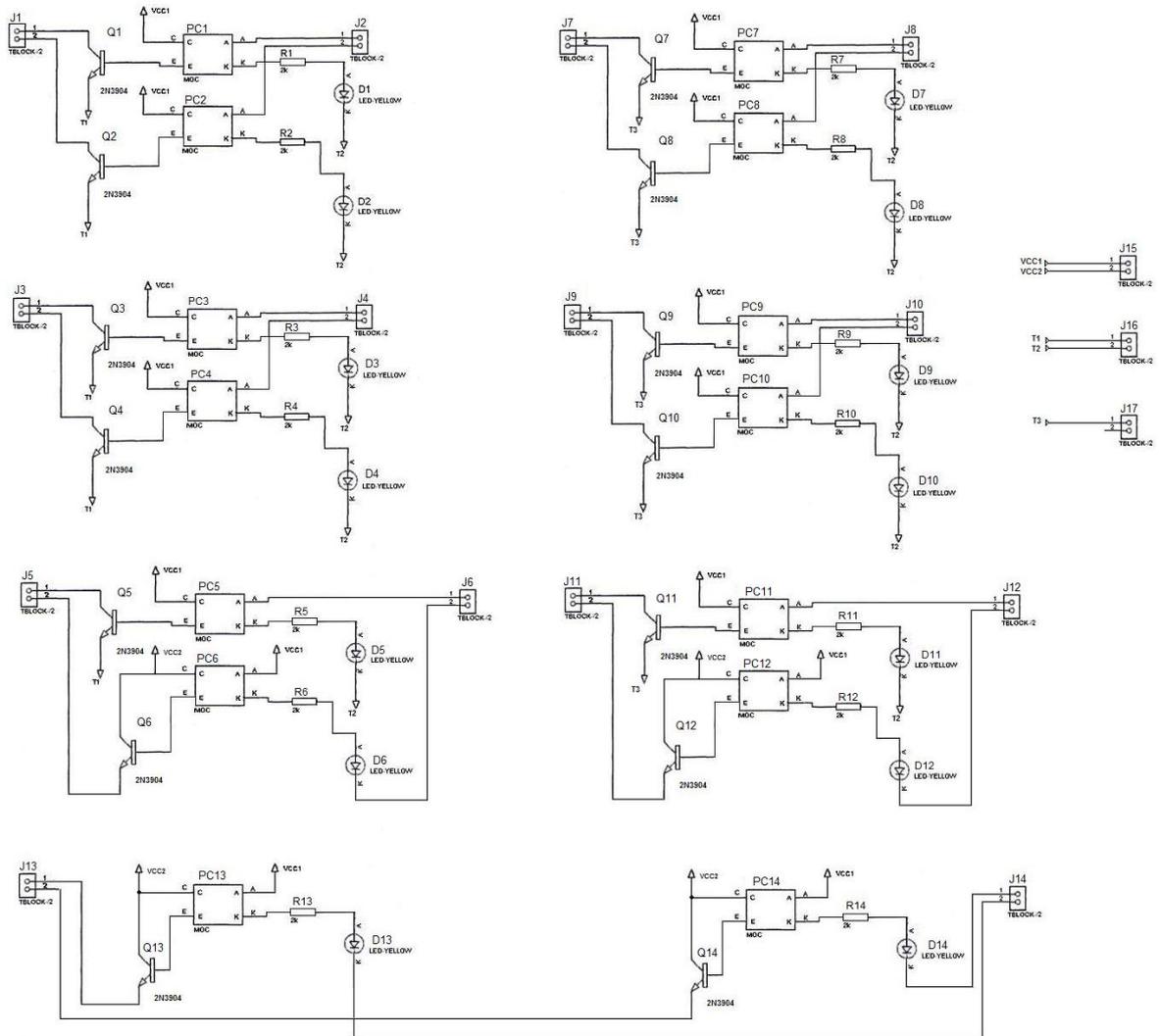
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] www.ingenieria.udea.edu.co/CURSOS/DOCUM/manufacturaflexible.doc
- [2] <http://www.itchihuahuaii.edu.mx/academico/II/SFP/CIM04.PDF>
- [3] REYES ROSALES, Rosendo, *Procesos de Manufactura*, tomo I, primera edición, Mc Graw-Hill, México 2007, p 558,560.
- [4] KALPAKJIAN, Serope, *Manufactura Ingeniería y Tecnología*, tomo I, cuarta edición, Prentice Hall, México 2002, p2-3.
- [5] BARRIENTOS MORALES, Antonio, *Fundamentos de Manufactura Moderna*, tomo I, tercera edición, McGraw Hill, México 2007, p913-919.
- [6] SCHEY, John A., *Procesos de Manufactura*, tomo I, tercera edición, McGraw Hill, México 2002, p 701,688.
- [7] http://www.quiminet.com/ar3/ar_armarmRsDF-buses-de-campo-aplicados-al-control-de-productos-industriales.htm Bus de campo aplicados al control de productos industriales
- [8] STALLINGS, William, *Comunicación y Redes de Computadores*, tomo I, séptima edición, Prentice Hall, México 2004, p83.

**A
N
E
X
O
S**

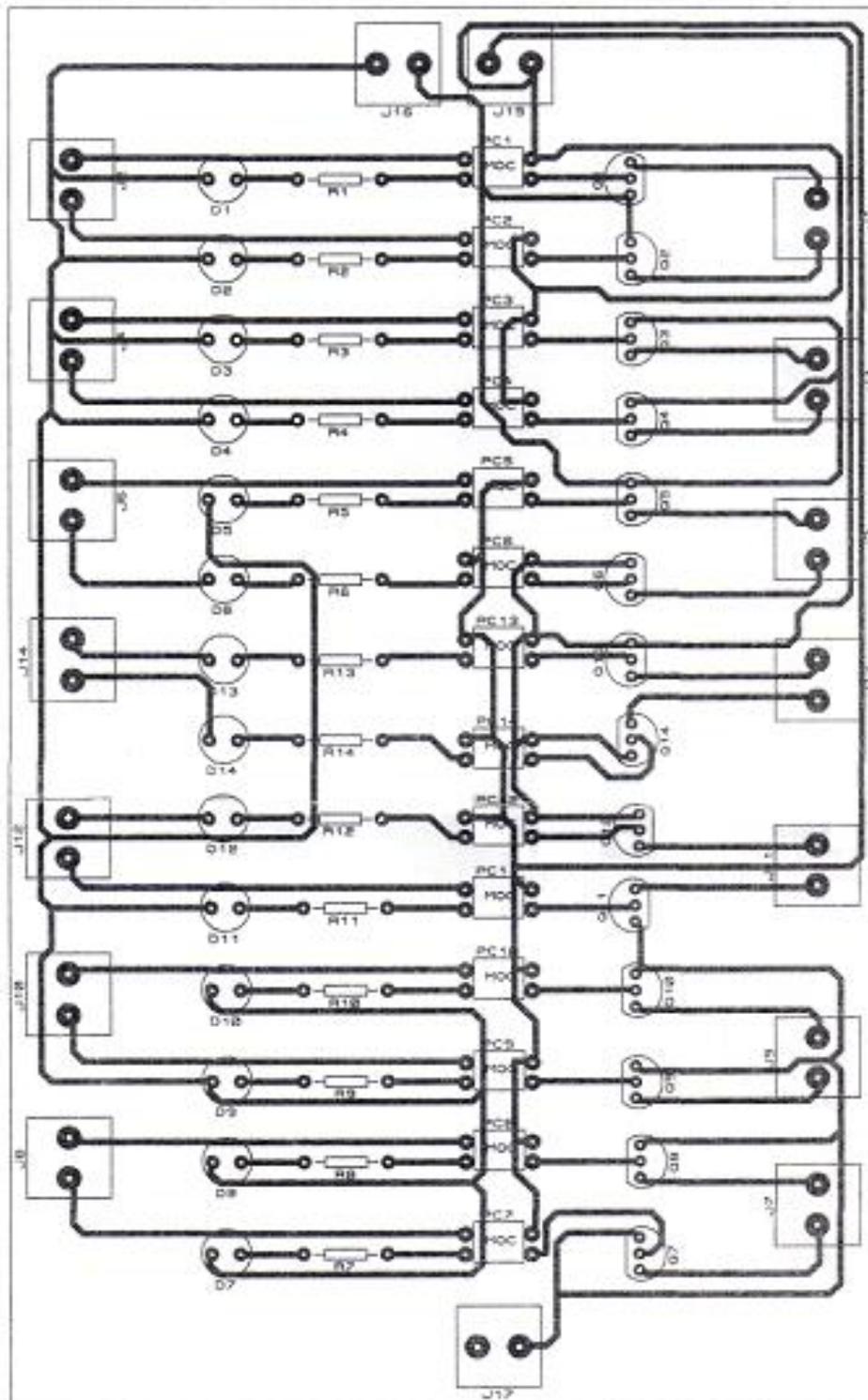
ANEXO 1

CIRCUITO INVERSOR DE SEÑALES



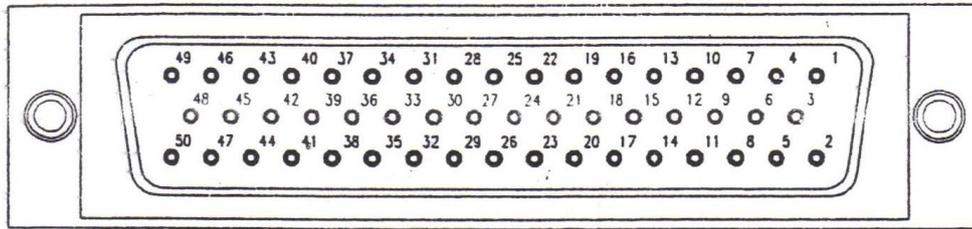
ANEXO 2

RUTEO DEL CIRCUITO INVERSOR DE SEÑALES



ANEXO 3

PINES DEL CONECTOR DD50 (PUERTO DE ENTRADAS Y SALIDAS DE PROPÓSITO GENERAL GPIO)



<i>Pin#</i>	<i>Function</i>	<i>Sictnature</i>	<i>Description</i>
1,2	+ 24v	24vdc internal	Optional Source for 24v, internal
3,4	IPW	24-40vdc	Iso Power, externally supplied
5	GPIO	Opto	General Purpose input #1
6	GPI1	Opto	General Purpose input #2
7	GPI2	Opto	General Purpose input #3
8	GPI3	Opto	General Purpose input #4
9	GPI4	Opto	General Purpose input #5
10	GPI5	Opto	General Purpose input #6
11	GPI6	Opto	General Purpose input #7
12	GPI7	Opto	General Purpose input #8
13	GPI8	Opto	General Purpose input #9
14	GPI9	Opto	General Purpose input #10
15	GPI10	Opto	General Purpose input #11
16	GPI11	Opto	General Purpose input #12
17	GPI12	Opto	General Purpose input #13
18	GPI13	Opto	General Purpose input #14
19	GPI14	Opto	General Purpose input #15
20	GPI15	Opto	General Purpose input #16

Pin #	Function	Signature	Description
21	GPO0	Opto	General Purpose output #1
22	GPO1	Opto	General Purpose output #2
23	GPO2	Opto	General Purpose output #3
24	GPO3	Opto	General Purpose output #4
25	GPO4	Opto	General Purpose output #5
26	GPO5	Opto	General Purpose output #6
27	GPO6	Opto	General Purpose output #7
28	GPO7	Opto	General Purpose output #8
29	CPO8	Opto	General Purpose output #9
30	GPO9	Opto	General Purpose output #10
31	GPO10	Opto	General Purpose output #11
32	GPO11	Opto	General Purpose output #12
33	Shield		
34	N/C		
35	GPO12NC	Relay	General Purpose output #13, Normally closed contact
36	GPO12NO	Relay	General Purpose output #13, Normally open contact
37	GPO13NC	Relay	General Purpose output #14, Normally closed contact
38	GPO13NO	Relay	General Purpose output #14, Normally open contact
39	GPO14NC	Relay	General Purpose output #15, Normally closed contact
40	GPO14NO	Relay	General Purpose output #15, Normally open contact
41	GPO15NC	Relay	General Purpose output #16, Normally closed contact
42	GPO15NO	Relay	General Purpose output #16, Normally open contact
43,44	RLY COMMON	Relay common line	All relays attached here, and to front panel fuse
45	AnalogIn1	Analog	Analog input channel (0-4.7v, diode clamped), ch #3 of A/D
46	AnalogIn2	Analog	Analog input channel (0-4.7v, diode clamped), ch #4 of A/D
47,48	IRT	Iso Return	Return for IPW, externally supplied
49,50	Gnd	Digital	Internal ground return for 24v

ANEXO 4

COMANDOS ROBCOM

ACTUAL	Muestra la actual posición del brazo robótico.
ARM	Habilita o deshabilita la energía del brazo robótico.
CLOSE	Cierra el gripper del brazo robótico.
CONFIG	Permite configurar uno de los dos canales de entrada serial según los requerimientos, tasa, paridad, etc.
CUT	Corta caracteres de una cadena.
DELAY	Especifica un tiempo de espera, en segundos. La resolución de este comando es en milisegundos.
DELETE	Borrar un programa.
DIR	Muestra una lista de todos los programas y el correspondiente espacio de memoria. Como argumento adicional se puede enviar la salida al puerto de impresión.
EDIT	Asigna un nombre específico a un programa para todos los comandos editados. El programa puede ser creado si este no existe todavía.
FINISH	Completa el comando de movimiento antes de continuar.
GOTO	Envía el control del programa al número de línea especificada en el programa ejecutado.
GRIP	Permite abrir o cerrar el gripper una distancia especificada.
HERE	Guarda la posición del robot actual como un punto de precisión o locación cartesiana en la tabla de locaciones.
HOME	Envía al robot a su posición de homeado.
IF	Evalúa la expresión lógica acordada para uno de seis operadores. Si la operación es verdadera, entonces se ejecuta la línea de comando especificada.
IFSIG	Examina el estado de las entradas especificadas. Si todas las condiciones son verdaderas, entonces el programa ejecuta el número de línea dada.
INPUT	Acepta entradas desde el dispositivo de entrada corriente.
JOINT	Mueve el brazo robótico por el número de unidades dadas.

MANUAL	Activa al operación en modo manual.
MOVE	Mueve al robot a la locación cartesiana o punto de precisión especificada usando la velocidad dada con el comando SPEED.
NEW	Borra toda la memoria usada por el robot. Todos los programas, variables y locaciones son borrados.
NEXT	Ejecuta el siguiente programa de línea.
OPEN	Abre el gripper.
OUTPUT	Setea las líneas de salida al estado especificado.
POINT	Define una locación.
READY	Mueve el brazo robótico a la posición READY.
RENAME	Renombra un programa existente en la memoria del robot.
RUN	Ejecuta el programa en la memoria del robot.
SPEED	Indica la velocidad a la cual se moverá el robot.
STOP	Termina el programa que está corriendo.
WAIT	Examina la condición de la línea de entrada y espera hasta que la condición se pierda.
@@CAL	Calibra todos los ejes del robot.
@@CALGR	Calibra el gripper.
@@DIAG	Ingresar al modo de diagnostico.
@SAVE	Guarda la memoria usada seleccionada para la memoria flash.
@@SETUP	Selecciona un nuevo inicio de configuración para ser guardado en la memoria flash.

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura. 1.1. a) Laboratorio de manufactura integrado por computadora CIM	
b) Ejemplo de piezas maquinadas	2
Figura. 1.2. Componentes del FMS	3
Figura. 1.3. Distribución en línea.....	8
Figura. 1.4. Distribución en escalera	9
Figura. 1.5. Distribución a campo abierto	9

CAPÍTULO 2

Figura. 2.1. Topologías Físicas	15
Figura. 2.2. Varias topologías conectadas entre sí.....	16

CAPÍTULO 3

Figura. 3.1. Elementos parte de la Estación FMS 2101	24
Figura. 3.2. Elementos para el transporte de las piezas	25
Figura. 3.3. Prisma y Cilindro colocados en el Pallet.....	26
Figura. 3.4. Brazo Robótico CRS A255	27
Figura. 3.5. Controlador Robótico C500C	27
Figura. 3.6. Teach Box para el manejo del Riel.....	28
Figura. 3.7. Máquina Fresadora NCM 2000.....	29
Figura. 3.8. Máquina Torno NCL 2000.....	30
Figura. 3.9. Micro-PLC controlador del Riel	31
Figura. 3.10. Conectores macho y hembra del puerto GPIO	32
Figura. 3.11. Conector DD50 (GPIO)	33

CAPÍTULO 4

Figura. 4.1. Estructura y conexiones de los elementos de la estación FMS con la nueva plataforma	35
Figura. 4.2. Ubicación de la estación FMS 2101	37
Figura. 4.3. PLC Compact Logix 5000 de Allen Bradley	38
Figura. 4.4. Módulo de alimentación del controlador	40
Figura. 4.5. Módulo controlador del PLC	41
Figura. 4.6. Módulos de entradas y salidas del PLC	42
Figura. 4.7. Elementos de maquinado (fresadora y torno)	43
Figura. 4.8. Brazo Robótico CRS A255	44
Figura. 4.9. Riel Rose Krieger	44
Figura. 4.10. Señales de Salida del PLC	45
Figura. 4.11. Señales de Entrada al PLC	46
Figura. 4.12. Descripción física de las señales del puerto GPIO del controlador robótico C500C	48
Figura. 4.13. Elementos del convertidor de señales	49
Figura. 4.14. Circuito interno del Optoacoplador	50
Figura. 4.15. Circuito para las salidas del PLC	51
Figura. 4.16. Circuito para las entradas al PLC	51
Figura. 4.17. Convertidor de señales, bits utilizados y bits auxiliares	52

CAPÍTULO 5

Figura. 5.1. Movimientos y posiciones de los elementos de la estación FMS.....	61
Figura. 5.2. Elementos del Torno que son Activados por el PLC	63
Figura. 5.3. Elementos de la Fresadora que son Activados por el PLC	64
Figura. 5.4. Diagrama general de flujo de la estación FMS.....	66
Figura. 5.5. Diagrama de flujo del maquinado del cilindro	67
Figura. 5.6. Diagrama de flujo del maquinado del prisma.....	68
Figura. 5.7. Programación en escalera	74
Figura. 5.8. Selección del software requerido	74
Figura. 5.9. Ventana de programación de los tags	75
Figura. 5.10. Ventana de programación de las rutinas.....	76
Figura. 5.11. Declaración de las etiquetas a utilizar	76
Figura. 5.12. Etiquetas utilizadas en las rutinas programadas.....	77

Figura. 5.13. Tags utilizados en el programa del PLC.....	77
Figura. 5.14. Rutina del PLC programada	78
Figura. 5.15. Programa del brazo robótico en ROBCOM	79
Figura. 5.16. Enviando el programa desde el ROBCOM hacia el controlador robótico	80
Figura. 5.17. Partes en la ventana del Factory Talk View.....	81
Figura. 5.18. Ventana de exploración.....	82
Figura. 5.19. Objetos y figuras básicas para la HMI	82
Figura. 5.20. Ventana principal de la HMI	83
Figura. 5.21. Ventana de ingreso de contraseña	83
Figura. 5.22. Ventana de modos de operación.....	84
Figura. 5.23. Ventana de simulación del modo automático.....	85
Figura. 5.24. Menú del proceso semi-automático	85
Figura. 5.25. Modo semi-automático de la fresadora	86
Figura. 5.26. Modo semi-automático del torno	86
Figura. 5.27. Menú para funcionamiento manual	87
Figura. 5.28. Funcionamiento manual de la fresadora	87
Figura. 5.29. Funcionamiento manual del torno	88
Figura. 5.30. Rutina de actualización de datos.....	88
Figura. 5.31. Rutina de mensajes	89
Figura. 5.32. Rutina de comparación de los datos enviados por mensajes.....	89
Figura. 5.33. Rutina que indica proceso terminado	90
Figura. 5.34. Rutina que indica pallet vacío	90
Figura. 5.35. Rutina que indica cilindro B recibido.....	90
Figura. 5.36. Rutina que indica cilindro A recibido	91
Figura. 5.37. Rutina de activación de la estación FMS	91
Figura. 5.38. Rutina de activación de los modos de operación	92
Figura. 5.39. Rutina de conteo de los avisos del Riel.....	93
Figura. 5.40. Cuentas del Riel	93
Figura. 5.41. Rutina de conteo de los avisos del Robot.....	94
Figura. 5.42. Cuentas del Robot	94
Figura. 5.43. El Riel se mueve a la posición 1	95
Figura. 5.44. Direccionamientos de los bits del BTB	95
Figura. 5.45. Activación del proceso del cilindro	96

Figura. 5.46. Activación del primer paso de Semi-automático	96
Figura. 5.47. Primera secuencia del Robot	97
Figura. 5.48. Bobinas para primera animación de la HMI.....	98
Figura. 5.49. El Riel se mueve a la posición 3	99
Figura. 5.50. Bobinas para segunda animación de la HMI	100

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 1

Tabla. 1.1. Funciones típicas de computadoras instrumentadas mediante módulos de software de aplicación de un sistema flexible de manufactura.....	11
--	----

CAPÍTULO 2

Tabla. 2.1. Protocolos de la Asociación IAONA	20
---	----

CAPÍTULO 4

Tabla. 4.1. Codificación de las señales de salida para los Movimientos del Robot	53
Tabla. 4.2. Señal de entrada al PLC desde el controlador del Robot	53
Tabla. 4.3. Codificación de las señales de salida para la ubicación del Riel.....	54
Tabla. 4.4. Señal de entrada al PLC desde el micro PLC.....	54
Tabla. 4.5. Señales de Entrada y Salida del Torno.....	55
Tabla. 4.6. Codificación de Entrada/Salida de las acciones de la Fresadora.....	55
Tabla. 4.7. Señales de entradas al PLC	56
Tabla. 4.8. Señales de salidas del PLC	57
Tabla. 4.9. Conexiones de la interfaz de acoplamiento con los elementos de la Estación.....	58

CAPÍTULO 5

Tabla. 5.1. Archivos de almacenamiento del tipo de datos	71
Tabla. 5.2. Tipos de datos de una etiqueta	72
Tabla. 5.3. Estilo, base y notación de una etiqueta	73

GLOSARIO

AGV: Vehículos Guiados Automáticamente

CAD: Diseño Asistido por Computadora

CAM: Manufactura Asistida por Computadora

CIM: Manufactura integrada por computadora

CN: Control Numérico

CNC: Control Numérico por Computadora

CSMA/CD: Acceso Múltiple por Detección de Portadora con Detección de Colisiones

Dirección IP: Identificador de 32 bits para cada nodo en la red de protocolo internet

FDDI: interfaz de Datos Distribuido por Fibra

FMS: Sistema de Manufactura Flexible

IEEE: Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos:

PLC: Controlador lógico programable

Modbus: Protocolo de comunicaciones situado en el nivel 7 del modelo OSI

MMS: Servicio de Mensajería Multimedia

HMI: Interfaz Humano Máquina

OSI: Interconexión de Sistemas Abiertos

PC: Computadora Personal

Red Ethernet: Una red de área local diseñada para el intercambio de información a alta velocidad entre computadoras y dispositivos relacionados.

TAG ó etiqueta: Nombre que se le asigna a una variable para identificarla

TCP/IP: Protocolo de Control de Transmisión/ Protocolo Internet

ACTA DE ENTREGA

El proyecto fue entregado al Departamento de Eléctrica y Electrónica y reposa en la Escuela Politécnica del Ejército desde:

Sangolquí, a _____

Ing. Víctor Proaño R.
COORDINADOR DE CARRERA

Sr. Dr. Jorge Carvajal
SECRETARIO ACADÉMICO

AUTORES:

Sr. Paúl Hernán Córdor Chicaiza

Sr. Milton Roberto Enríquez Segovia